



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVĚSU DVEŘÍ
AUTOMOBILU**

MANUFACTURING TECHNOLOGY DESIGN OF THE AUTOMOTIVE DOOR HINGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jana Dvořáková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Ing. Jana Dvořáková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologie výroby závěsu dveří automobilu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce se zabývá návrhem technologie výroby závěsu dveří automobilu. V práci jsou popsány fáze vývoje výrobku, výroba prototypů na jednoduchých nástrojích a také konstrukce a výroba lisovacího nástroje. Součástí práce je ekonomické zhodnocení a porovnání výroby s využitím jednoduchých nástrojů a nového lisovacího nástroje.

Cíle bakalářské práce:

- Technologický postup výroby závěsu dveří automobilu.
- Návrh lisovacího nástroje
- Ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby závěsu.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-8-7080-741-5.

HOSFORD, WILLIAM and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York:Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

DVOŘÁKOVÁ Jana: Návrh výroby závěsu dveří automobilu.

Bakalářská práce předkládá návrh výroby závěsu dveří automobilu z plechu ČSN 11 321 a ekonomické zhodnocení zvolené varianty. Závěs je vyráběn ve sdruženém nástroji operacemi stříhání a ohýbání. Nástroj je upnut do rámového mechanického lisu, typ ZH 2500 – 2000 NG s nominální silou 2500 kN. Součástí práce je literární rešerše, jejímž výstupem je přehled technologií stříhání se zhodnocením jejich vhodnosti pro výrobu zadané součásti, teorie technologií ohýbání a lisování označení a prolisů, stručný nástin možnosti aditivní výroby součásti a teoretické výpočty. V rámci technicko - ekonomického hodnocení jsou porovnány varianty nástrojů pro sériovou výrobu. K práci je přiložena výkresová dokumentace součásti a nástroje.

Klíčová slova: Ocel ČSN 11 321, postupový nástroj, sdružený nástroj, stříhání, ohýbání, ražení.

ABSTRACT

DVOŘÁKOVÁ Jana: Manufacturing Technology Design of the Automotive Door Hinge.

The bachelor thesis presents a production proposal of an automotive door hinge from the sheet metal ČSN 11 321 and an economic evaluation of the chosen variant. The hinge is produced in a combined tool by shearing and bending operations. The tool is clamped to a ZH 2500-2000 NG mechanical press with a nominal force of 2500 kN. Because of the press parameters, alternative solutions are proposed that could lead to an increased capacity utilization. Part of the thesis is a literary research, the output of this research is an overview of cutting technologies with evaluation of their suitability for production of the given part, theory of bending and stamping technologies, a brief outline of the possibility of component production by a method of additive manufacturing and theoretical calculations. Technical variants of series production tools are compared as part of the technical and economic evaluation. Drawing documentation of a component and of a tool are listed in the attachment.

Keywords: Steel ČSN 11 321, progressive tool, combined tool, shearing, bending, stamping

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁKOVÁ, Jana. *Návrh technologie výroby závěsu dveří automobilu*. Brno, 2017. 40s, 2 výkresy, 4 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Jihlavě

dne 16. 5. 2017

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Děkuji také společnosti Hettich za možnost zpracovávat bakalářskou práci na téma z výrobní praxe společnosti, zejména panu Ing. Jiřímu Pokornému a panu Aleši Holubovi za pomoc a vedení při zpracování praktické části práce a také své rodině za trpělivost a podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
 estné prohlášení
Pod kování
Obsah

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 VOLBA POLOTOVARU	11
1.2 TECHNOLOGIE NOST SOU ÁSTI.....	13
2 TEORETICKÁ ÁST.....	15
2.1 D LENÍ MATERIÁLU	15
2.2 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	20
2.3 ADITIVNÍ VÝROBA	25
2.4 LISOVÁNÍ ZNA KY A PROLIS	27
3. PRAKTICKÁ ÁST	28
3.1 VÝPO ET EZNÝCH, OHÝBACÍCH A TVÁ ECÍCH SIL.....	28
3.2 VOLBA LISU	29
3.3. VÝROBA PROTOTYP NA JEDNODUCHÝCH NÁSTROJÍCH.....	29
3.4 NÁST IHOVÝ PLÁN.....	32
3.5 KONSTRUKCE SDRUŇENÉHO NÁSTROJE	34
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	37
ZÁV RY	40

Seznam pouŇitých zdroj
Seznam pouŇitých symbol ů a zkratek
Seznam obrázk
Seznam tabulek
Seznam p ůloh
Seznam výkres

ÚVOD [5; 7]

Tváření patří mezi významné způsoby přeměny polotovaru na hotový výrobek. Technologie tváření provází lidstvo již od pravěku, kdy lidé pomocí tváření mohli cíleně vyrábět první nástroje. S trochou nadsázky lze říci, že jedním z pilířů rozvoje lidstva byla technologie tváření, umožňující technický a technologický rozvoj společnosti. A ani dnes tomu není jinak. Navzdory prudkému rozvoji ostatních technologií si tváření zachovalo svoje nezastupitelné místo v průmyslové praxi, zejména ve velkosériové výrobě. Příklady tvářených součástí jsou na obr. 1.

Tváření lze dělit například podle zpracovávaného polotovaru na technologii objemového tváření a technologii plošného tváření, která je využita pro řešení součást. Dalším kritériem dělení tvářecích procesů je teplota rekrystalizace, při níž dochází ke změně struktury materiálu bez změny krystalické mřížky. Tvářecí procesy, které probíhají pod teplotou rekrystalizace, se nazývají tváření za studena. Naopak k tváření za tepla dochází při teplotách vyšších, než je teplota rekrystalizace. Další možností je tváření za částečného ohřevu, kdy již dochází k teplotně aktivovanému pohybu dislokací, avšak teplota ohřevu nedosahuje teploty rekrystalizace.

Řešená problematika je zaměřena na technologie dělení a technologii ohýbání plechu. Jedná se o metody plošného tváření. Na obr. 1 je příklad součástí vyráběných technologií s využitím dělení a ohýbání. U těchto technologií dochází k prudkému rozvoji moderních postupů, umožňující dosahovat požadovaných vlastností výrobku při využití efektivní výroby u širokého spektra materiálů. Jednotlivé metody přináší své nesporné výhody, je však nutno také zohlednit jejich specifika a nevýhody, a proto je výběr vhodné technologie důležitým a velmi zodpovědným rozhodnutím každého technologa, ovlivňujícím v konečném důsledku nejen samotný výrobní proces, ale v zásadě i celý životní cyklus výrobku. Pro volbu vhodné metody je třeba posoudit celou řadu dílčích faktorů, jimž je nutno přiřadit váhy dle jejich důležitosti pro dosažení požadovaných charakteristik konečného produktu a zajištění efektivní výroby.

Volbě vhodné technologie předchází pečlivý výběr výchozího polotovaru a posouzení technologičnosti konstrukce. Další rozvoj materiálových věd umožňuje efektivně využívat stále větší množství materiálů. Není ovšem vždy účelné pouze přecházet k novým materiálům, s velkou výhodou lze využívat i tradiční materiály, s nimiž jsou v technologii tváření již velké zkušenosti. Pro účinné využití výhod jednotlivých moderních ale i původních materiálů je nutno se po celý profesní život dále vzdělávat a sledovat trendy v domácí i světové průmyslové výrobě.



Obr. 1 Příklady tvářených součástí [30]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [4; 29]

Řešenou součástí je závěs dveří automobilu, viz obr. 2, vyráběný ze svitku plechu z oceli ČSN 11 321 v sérii 55 000 ks ročně. Součást je zhotovována technologií s využitím stříhání a ohýbání, poté je opatřena osičkou. Protikus, který je společně s řešenou součástí smontován u odběratele, ve firmě Magna, je dodáván do vozů BMW G32.

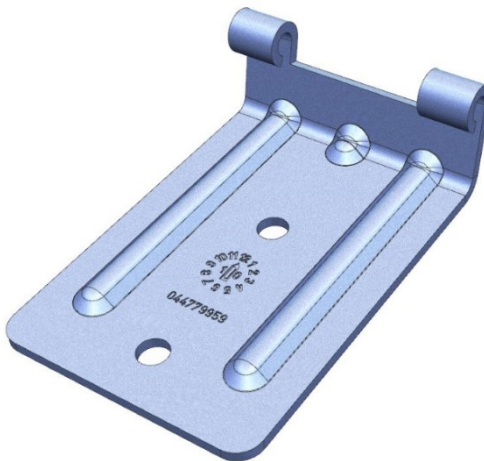
Součást je vyrobena z plechu o tloušťce 2,2 mm a v rozvinutém tvaru má rozměry 105x55 mm.

Jde o součást, která je namontována v kufru luxusního automobilu, základním předpokladem je tedy zajištění jejího výborného vzhledu a zejména vysoké odolnosti proti korozi, a proto je nutno zajistit dostatečně kvalitní povrchovou úpravu. Tato povrchová úprava zároveň zajistí i lepší třecí vlastnosti a odolnost proti prokluzu. Byla zvolena kataforéza. Jde o elektroforézní lakování, při němž se uzemněné díly ponořují do lakové lázně, na niž je připojeno elektrické napětí. Částičky nevodivého laku získávají elektrický náboj a jsou přitahovány k opačně nabitým dílům, na nichž pevně ulpívají. Výhodou této povrchové úpravy je rovnoměrné nanesení laku i na členité povrchy. Je tedy často užívána i pro antikorozní nátěry celých karoserií aut. Další výhodou kataforézy je i velmi tenká vrstva laku, která je jejím prostřednictvím nanášena na součást. Jde o tloušťku pouze 0,025 mm, která oproti běžnému práškovému lakování s vrstvou v řádech desetin mm značně zjednodušuje a zlevňuje další úpravy, neboť při kataforéze u děr nedochází k jejich zaslepování a nemusí být tedy přestružovány.

Dle zadání odběratele měl být původně na obdélníkovou destičku přivařen drát, který by zajistil funkci osičky. Firmou Hettich, tradičním výrobcem nábytkového kování, který pro dodávky do automobilového průmyslu používá značku: Hettich Cast Ware, bylo ale navrženo, že bude drát nahrazen ohybem polotovaru s následně zamontovanou osičkou. Odběratel, firma Magna, souhlasila a společnost Hettich zakázku na výrobu tohoto dílu získala. Osička je namontována do dílu před kataforézou, neboť je žádoucí, aby byla pevně fixována.

Součást byla nejdříve vyráběna jako prototyp v počtu 100 ks a po provedení změn požadovaných odběratelem, o nichž se zmiňují v další části této kapitoly, bylo rozhodnuto o její sériové výrobě v počtu 55 000 ks ročně.

Konečná podoba součásti se liší od prototypu v prolisech. Pevnostní charakteristiky prototypu nevyhovovaly, a proto byl odběratelem vznesen požadavek na větší tloušťku materiálu. Z důvodu navýšení hmotnosti i ceny a zhoršení tváritelnosti při použití polotovaru s vyšší tloušťkou bylo navrženo provést na součásti prolisy, zvyšující pevnost součásti při zachování původní tloušťky polotovaru.



Obr. 2 Závěs dveří automobilu [29]

1.1 VOLBA POLOTOVARU [2; 5; 15; 18; 25; 27;29; 34]

Součást je vyráběna technologií s využitím dělení materiálu a ohýbání. Polotovarem je plech z oceli ČSN 11 321, tedy z jakostní nelegované oceli, vhodné k tváření za studena. Byl zvolen plech válcovaný za studena, neboť vykazuje lepší vlastnosti oproti plechům válcovaným za tepla, zejména hladký povrch, velkou rozměrovou přesnost a dobré mechanické vlastnosti.

Ve koncernu Hettich, který polotovary řešené součásti nakupuje a zpracovává, je tento materiál označován CRC DC01AmO, kde CRC je označení pro plech o menší tloušťce válcovaný za studena (z anglického Cold Rolled Coil). DC01 je označením jakosti dle normy EN 10130. Jde o ekvivalent oceli 1.0330 (značení dle ČSN 11 321). Převodní tabulka značení ocelí dle jednotlivých mezinárodních a národních norem je uvedena v příloze 2. Další označení požadovaných charakteristik materiálu jsou **A**, tedy běžná kvalita povrchu, **m** (z německého matt) popisující matný povrch s R_a v rozmezí 0,6 až 1,9 μm a **O** pro naolejovaný plech v rámci antikorozi ochrany. O mazání plechu pojednávám blíže v kapitole mazání. Mechanické vlastnosti a chemické složení této oceli jsou stručně popsány v tabulce 1. Materiálový list této oceli od dodavatele je uveden v příloze 1 této práce.

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 321 [25; 27].

Materiál	Ocel 11 321 (1.0330)			
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A [%]	Mez kluzu R_e [MPa]	Tvrdość dle Brinella
	270-410	44	280	231
Chemické složení	Uhlík C [%]	Síra S [%]	Fosfor P [%]	Mangan Mn [%]
	0,12	0,045	0,045	0,6

Polotovary může být dodáván ve formě tabulí plechu nebo v podobě svitků plechu. Při volbě polotovaru plechu bývá za výhodnější považován svitek plechu oproti tabuli plechu. V literatuře se uvádí, že lze takto snížit náklady na materiál o 5 až 6 %. Další významnou výhodou využití svitků je umožnění automatizace. Zatímco pás plechu oddělený z tabule musí být ručně zaváděn, plech ze svitku je plynule odvíjen do stroje. Polotovary na výrobu řešené součásti je nakupován ve svitcích, což je z ekonomického pohledu výhodnější varianta.

Použití svitků plechu může být limitováno strojním vybavením firmy, tedy použitím vhodných lisů a požadavkem na volný prostor u lisů, v němž bývá umístěn podavač svitku plechu, odvíjení, rovnačka a počítání jednotlivých posunů. Svitek je nakupován v potřebné šířce přímo u výrobce. Limitujícím faktorem pro maximální průměr svitku je zejména hmotnost. Pro efektivní a bezpečnou manipulaci je hmotnost svitku omezena nosností manipulačních prostředků zpracujícího podniku, viz obr. 3.

Minimální a maximální hmotnost svitku se počítá dle vzorců na základě parametrů výrobce. Minimální průměr svitku je dán omezením 6 $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}$. Maximální průměr svitku je určen omezením 7 $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}$. Šířka pásu je 128 mm. Po dosazení do vztahu (1.1) získáváme minimální hmotnost svitku 768 kg. Maximální hmotnost svitku, 896 kg, se získá dosazením do vztahu (1.2).



Obr. 3 Zavěšený svitek plechu [29]

$$\text{Maximální hmotnost svitku} = 6 \cdot 128 = 768 \text{ kg} \quad (1.1)$$

$$\text{Minimální hmotnost svitku} = 7 \cdot 128 = 896 \text{ kg} \quad (1.2)$$

Minimální průměr svitku je dán přípravkem, na které bude svitek nasazován a také tím, že při příliš malém průměru svitku by už docházelo k jeho deformaci a ani v rovnačce už by nebylo dosaženo požadovaného tvaru. Vzhledem k používané navíječce, která neumožňuje nasazení menšího průměru svitku, je vnitřní průměr svitku 508 mm, viz obr. 4.



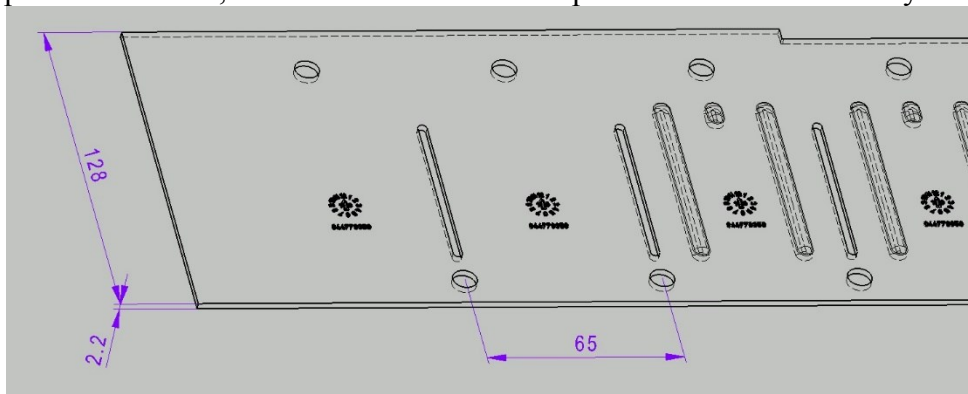
Obr. 4 Nasazený svitek plechu [29]

Svitky plechu jsou stohovány na dřevěných prokladech pokrytých folií, neboť docházelo k vlhnutí dřeva, které následně vedlo ke korozi skladovaných svitků plechu, viz obr. 5.



Obr. 5 Svitky plechu [29]

Pro zajištění spolehlivého posunu plechu byly zvoleny dorazy a zahledávání. Zahledávací otvory umístěny mimo stříhanou a ohýbanou část pásu plechu, viz obr. 6, z důvodu větší variability nástroje v případě změny rozteče upínacích prvků či rozměrů. V průběhu sériové výroby součásti nelze vyloučit možnost, že bude zákazník požadovat provedení modifikací dílu. V případě umístění zahledávání ve stříhané a ohýbané části pásu plechu by případné změny nástroje byly složitější. Při zahledávání v postranní části pásu mimo stříhanou a ohýbanou oblast je nutno volit větší šířku pásu. V důsledku lisování prolisů je nutno volit větší délku kroku z důvodu prostřížení technologického otvoru, který umožní prolisovat výztuž daného rozměru bez deformace pásu, což v důsledku vede k větší spotřebě materiálu. Můstky v tomto případě činí 10 mm, zatímco bez nutnosti užití prolisů na dané součásti by činily cca 4 mm.



Obr. 6 Umístění zahledávacích otvorů a délka kroku [29]

1.2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI [1; 2]

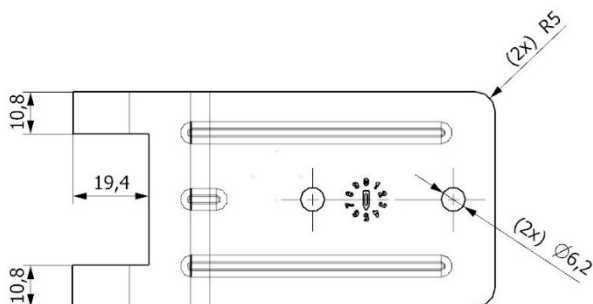
Technologičnost součásti znamená možnost zhotovení součásti s minimalizovanými náklady v nejkratší době, tedy v nejkratším výrobním čase při nejkratší době přípravy výroby. Vychází z porovnání různých konstrukčních variant. Při hodnocení technologičnosti řešené součásti posuzujeme technologičnost materiálu, technologičnost výstřižku a technologičnost z pohledu ohýbání součásti.

Při kontrole technologičnosti výstřižku se vychází z volby materiálu a tvaru a rozměru výstřižku. Sleduje se, zda není zbytečně předepsána drsnost povrchu R_a menší než $3,2 \mu\text{m}$ či nejsou bezúčelně předepsány přísné tolerance pro rovinnost výstřižku a zda je požadovaná přesnost výstřižků IT dosažitelná zvolenou metodou. Dále se kontroluje, zda jsou dodrženy minimální požadované vzdálenosti mezi otvory a od okrajů, které jsou stanovovány dle tvaru otvoru a tvrdosti použitého materiálu. Vychází se z tloušťky materiálu 2,2 mm, viz obr. 7.



Obr. 7 Tloušťka součásti [29]

Pro kruhové, čtvercové i obdélníkové otvory je minimální vzdálenost otvorů od okrajů i minimální vzdálenost mezi otvory určována jako násobek šířky materiálu s . U kruhových otvorů je tato minimální požadovaná vzdálenost mezi otvory a od okrajů stanovena jako $0,8 \cdot s$ v závislosti na tvrdosti zvolené oceli s tím, že pro měkké oceli je nutno tuto minimální požadovanou vzdálenost zvýšit ještě o 20 až 25 %.



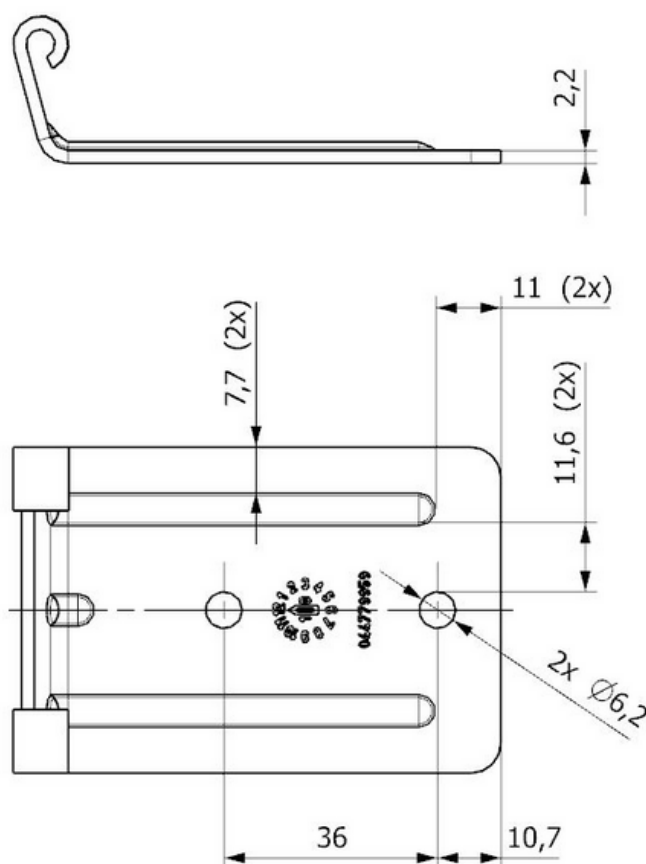
Nedílnou součástí posouzení technologičnosti výstřižku je, zda jsou sražené či zaoblené hrany výstřižku. Minimální šířka a výška vystupujících částí výstřižku se určována jako násobek šířky materiálu s . Minimální výška je stanovena $1,2 \cdot s$ a minimální šířka $1,5 \cdot s$. Rozměry na obrázku 8 odpovídají i této podmínce.

Obr. 8 Rozměry vystupujících částí výstřižku [29]

V závislosti na tvrdosti oceli, která je použita jako materiál pro výstřižek, a také v závislosti na šířce plechu je stanoven minimální průměr děrovaného kruhového otvoru 1 mm pro měkké oceli a 1,5 mm pro tvrdší oceli s tím, že s rostoucí tloušťkou materiálu roste i minimální požadovaný průměr otvoru. Je zřejmé, že je výhodnější volit pokud možno kruhové otvory při děrování. Kruhové tvary naopak ale nejsou vhodné pro vnější tvar výstřižku, a to z hlediska nižšího využití materiálu v nástřihovém plánu, stejně tak, jako členité tvary vnějšího obrysu výstřižku. Jako nevýhodné bývají označovány i plynulé přechody poloměrů do přímek.

Zadaná součást (obr. 2) byla posouzena z hlediska technologičnosti. Materiál, za studena válcovaný plech z oceli 11 321 o tloušťce 2,2 mm byl zvolen vhodně. Vnější tvar výstřižku je obdélníkového tvaru s vystřiženým obdélníkovým tvarem tak, aby bylo možno vystupující část výstřižku vhodně ohýbat do požadovaného tvaru.

Minimální požadovaná výška a šířka vystupující části řešené součásti je dle teoretických požadavků na technologičnost stanovena na 1,2.s, tedy 2,4 mm a 1,5.s, což činí 3 mm. Obr. 8 dokumentuje že vystupující části součásti mají šířku 10,8 mm a délku 19,4 mm, rozměry vystupující části výstřižku tedy splňují požadavky technologičnosti s velkou rezervou. Průměr kruhových děrovaných otvorů je 5 mm, což je z hlediska technologičnosti zcela v pořádku. Minimální požadované vzdálenosti děr, tedy 1,8.s pro polotvrdé oceli, jsou zde splněny také s velkou rezervou, jak je ilustrováno na obr. 9, neboť nejmenší vzdálenost díry od okraje je 7,6 mm a vzájemná vzdálenost děr dosahuje hodnoty 29,8 mm, vzdálenost prolisů od okraje plechu činí 7,7 mm a nejmenší vzdálenost díry od okraje plechu je 7,6 mm, což je také zcela vyhovující.



Obr. 9: Posouzení technologičnosti součásti [29]

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 DĚLENÍ MATERIÁLU [3; 4; 5; 6; 7; 9; 10; 20; 23; 24; 29; 40; 41]

Při volbě technologie dělení materiálu je nutno zohlednit krátkodobé i dlouhodobé cíle výroby. Vzhledem k finanční náročnosti pořizování nových nástrojů či strojního vybavení jde o velmi zodpovědné a strategické rozhodnutí. Je nutno zohlednit požadovanou kvalitu řezu a požadavky na přesnost, dále druh a tloušťku děleného materiálu, požadavky na výrobnost, tedy kolik dílů je nutno vyrobit za směnu a také zda bude dělení součásti prováděno v kooperaci či přímo v podniku. V současné době do popředí vstupují i ekologické faktory, zaměřené vedle omezení spotřeby materiálu, energií a zamezení plýtvání zdroji, např. vodou za použití uzavřených systémů a zpětné recyklace vody a brusiv, také na dodržení předpisů týkajících se vlivu výroby na okolní prostředí. To vše je nutno zajistit při dodržení požadavků na bezpečnost práce. Rozhodujícím faktorem pro volbu vhodné technologie může i být požadavek na flexibilitu výroby.

Pro dosažení požadovaného tvaru výstřižku součásti lze využít technologie řezání laserem, řezání plazmou, řezání vodním paprskem a stříhání v jednoduchém či postupovém nástroji. Vzhledem k charakteru součásti a malé tloušťce materiálu není uvažováno řezání autogenem, a proto se touto metodou již dále v teoretické části nezabývám a neuvádím ho ani v příloze 4 v tabulce s přehledem výhod a nevýhod jednotlivých metod dělení materiálu, se kterou bych ovšem polemizovala ve stanovisku, že u stříhání je obvykle nutná následná operace z důvodu nedostatečné kvality střižné plochy. Je pravda, že v případě vystřižených dílů, u nichž dochází k přímému kontaktu se zákazníkem, bývá zařazeno omílání v bubnech, tzv. troval, při němž jsou odstraňovány ořepy z dílů pomocí brusiva či vzájemným narážením jednotlivých dílů. Ze zkušenosti, kterou jsem získala ve společnosti Hettich, vím, že je omílání či jiná operace upravující nedostatečnou kvalitu střižné plochy u nábytkového kování či u závěsů v automobilovém průmyslu zařazována pouze výjimečně.

Příčinu tohoto podle mého názoru zavádějícího tvrzení, že u stříhání je obvykle nutná následná operace z důvodu nedostatečné kvality střižné plochy, je skutečnost, že zdroj [24], z něhož je tabulka převzata a přeložena do češtiny, sice obsahuje množství cenných informací uvádějících do problematik progresivních technologií, je ovšem vytvářen společností, která se profesně zabývá technologiemi řezání plazmou, laserem a vodním paprskem a je zacílena spíše na nové zákazníky, které se snaží přesvědčit o výhodách firmou navržené technologie a nemůže být tedy považována za zcela objektivní zdroj informací pro jiné technologie dělení materiálu. Přehled metod dělení materiálu v podobě tabulky uvádím spíše jako ilustrační přehled a porovnání cenových hladin jednotlivých metod a vzhledem k jeho rozsahu a nižší relevanci tabulku v textu práce pouze zmiňuji a řadím ji až jako přílohu 4.

- **Řezání plazmou**

Plazma bývá označována jako 4. skupenství, jde o ionizovaný, elektricky vodivý, plyn s obrovskou energií. Jako stabilizující plyn je užíván argon, vodík, dusík, kyslík a vzduch. Pomocí tohoto plazmového plynu dochází k ionizaci a disociaci plazmového oblouku. Při rekombinaci atomů a molekul po opuštění plazmové trysky dochází k prudkému uvolnění energie, což zesiluje tepelný účinek plazmového paprsku na řezaný materiál. Plazmová tryska bývá dodatečně chlazená vodou, neboť v plazmovém oblouku se teploty pohybují až okolo 30 000 °C.

Mimo výše uvedených stabilizačních plynů lze využít i stabilizace stlačeným vzduchem a stabilizace plynem (N₂) a vodou. Využití ionizované vodní páry jako stabilizačního media s sebou nese nesporné výhody, jako je omezení emise škodlivých látek, velmi malý objem stlačených kapalin oproti stlačenému vzduchu, neomezená mobilita, minimální spotřeba media

v řádech gramů za minutu, řezné plochy jsou bezoxidové a nevyžadují další opracování. Výhodou je i vyšší hospodárnost v důsledku vyšší rychlosti řezání.

Průběh řezání plazmou je následující. Nejprve je nutno zapálit prvotní oblouk mezi trysku a katodou pomocí vysokého napětí. Tento pilotní oblouk je energeticky slabší, je však dostačující pro ionizaci dráhy mezi plazmovým hořákem a řezaným polotovarem. Po dotyku oblouku s řezaným materiálem je automaticky zvýšen výkon hlavního oblouku. Při tomto zvýšení dynamického účinku je natavený materiál vyfouknut z řezné spáry.



Řezání plazmou, viz obr. 10, lze použít na všechny druhy ocelí, tedy i nerez, dále na hliník, měď, mosaz a další kovové slitiny. Plazmou lze řezat materiál v rozmezí tloušťek 1 až 45 mm.

Obr. 10 Řezání plazmou [40]

- **Řezání vodním paprskem**

Principem je erozivní působení úzkého vodního paprsku (viz obr. 11), který je pod vysokým tlakem směřován na požadované místo řezu. Materiál je oddělován tlakem vodního paprsku. Kromě čistě vodního paprsku je používána i kombinace vysokotlakého vodního paprsku s brusivem.

Výhodou této technologie je absence tepelně ovlivněné oblasti, nulové chemické ovlivnění materiálu a také to, že v oblasti řezu nevzniká a nepřetrvává vnitřní pnutí. Kromě příznivé ceny je pozitivem této metody také její zdravotní nezávadnost, neboť nevznikají žádné jedované výpary či polétavý prach způsobený dělením materiálu. Mezi výhody řezání vodním paprskem

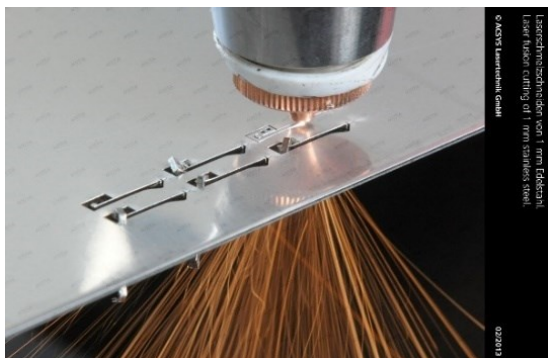


patří možnost řezat i vrstvené materiály či možnost minimalizace odpadu. Technologii řezání vodním paprskem lze s výhodou využít v potravinářském průmyslu, ale také při řezání keramiky, kamene, dřeva či dlaždic. Nevýhodou je naopak nutnost vhodně ošetřit kovové materiály a v mnoha případech je pro využití této metody eliminující právě to, že je u některých dělených materiálů nežádoucí styk materiálu s vodou.

Obr. 11 Řezání vodním paprskem [42]

- **Řezání laserem**

Principem této metody je zaměření úzkého světelného svazku, který ohřeje a odpaří materiál. Dochází ke vzniku tepelně ovlivněné oblasti, tato oblast ale může být díky vysokému výkonu



laseru jen minimální, a tak zůstávají zachovány fyzikální i chemické vlastnosti děleného materiálu. Velkým benefitem této metody je i to, že oproti mechanickému dělení materiálu nedochází k opotřebení nástroje, není potřeba speciálního přípravku pro uchycení obrobku, což vede k výraznému snížení času na doplňování zpracovávaného materiálu. Důvodem pro rostoucí využití této technologie je zejména rychlá reakce na požadavky zákazníka a také vysoká přesnost řezu a kvalita povrchu výrobku, viz obr. 12.

Obr. 12 Řezání laserem [39]

Využití této technologie je efektivní při řezání velkého počtu obdobných dílů a u malosériové výroby. Při změně konfigurace detailu nevyžaduje laserové zařízení dodatečnou montáž jakýchkoliv součástek, a proto umožňuje pokračovat v řezání bez zastavení obrábění plechu, pouze změnou řídicího programu (výkresu). Laserové řezací stroje dovolují řezání materiálu po zcela libovolném obrysu, který při řezání laserem samozřejmě není limitován tvarem střížníku, což vede k vysoké variabilitě. Řezání laserem současně poskytuje nejvyšší kvalitu zpracování. Oproti stříhání v nástroji je ale vyšší cena za kus, a proto se v sériové výrobě této součásti používá právě stříhání v nástroji. Svě uplatnění nachází řezání laserem i při vhodného rozvinutého tvaru. Až poté, co zákazník rozvinut tvar schválí, je zkonstruováno a zhotoveno stříhadlo.

V literatuře [20] se uvádí i řezání za působení sousedního vodního paprsku, podporujícího řezání vláknovým laserem. Sami autoři článku však uvádí, že testy u ocelí ale prokázaly spotřebování většího množství energie v porovnání s řezáním laserem za pomoci plynu v důsledku absorpce laserového paprsku vodou a rozptýlu v místě interakce.

- **Stříhání / vystřihování**



Obr. 13 Stříhání [35].

Stříhání je nejčastěji používanou technologií dělení plechů. Stříhání je možno provádět ručně anebo strojně. Z hlediska použitých nástrojů se rozlišuje stříhání nůžkami a stříhání jinými stříhacími nástroji, viz obr. 13. Stříhání nůžkami nebylo pro danou součást vzhledem k jejímu charakteru uvažováno, a proto se v textu zabývám již pouze stříháním ve stříhadlech. Taktéž v textu dále nezmiňuji stříhání na elastických stříhadlech či dělení materiálu za studena lámáním, které jsou pro zvolenou součást také nevhodné.

Střih probíhá v několika fázích. Po dosednutí střížníku v průběhu jeho postupného vnikání do materiálu dochází nejdříve k pružné deformaci, po překročení meze kluzu materiálu již vzniká plastická deformace, která se zvyšuje až do překonání meze pevnosti ve střihu. Po překonání meze pevnosti ve střihu již vznikají trhlinky (tzv. nástřih), které se rozšiřují, dokud nedojde k oddělení výstřížku. Rychlost, s jakou dochází ke vzniku a šíření trhlín, je determinována mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu a nastavením střížné vůle. Při správném nastavení střížné vůle dojde k propojení trhlín vzniklých u hran střížníku a střížnice. Délky jednotlivých fází ovlivňují vzhled střížné plochy až do fáze lomu, kterou lze charakterizovat pomocí tzv. S křivky střihu.

Kvalitu střížné plochy lze ovlivnit zejména střížnou vůlí, vztah (2.1), ale i použitím přidržovačů apod., v případě vyšších nároků na střížnou plochu se využívá metod přesného stříhání. Velikost střížné vůle, což je dvojnásobek střížné mezery u uzavřeného střihu, tedy součet mezer mezi střížníkem a střížnicí po obou stranách, závisí na tloušťce a kvalitě stříhaného materiálu, na kvalitě povrchové úpravy nástrojů a jejich požadované trvanlivosti a v praxi je často stanovována empiricky jako 5 % tloušťky materiálu. Lze ji také odečíst z nomogramu či pro plechy s tloušťkou max. 3 mm, což je i případ řešené součásti, spočítat dle empirického vztahu 2.2. Střížnou vůli je možno také odečíst z grafu dle normy ČSN 22 601.

Je-li střížná vůle nastavena správně, dojde ke spojení trhlín v okamžiku střihu. Při příliš velké střížné vůli dochází k ohýbání stříhaného materiálu. Zmenšováním střížné vůle naopak dochází ke zvětšování střížné síly a zejména střížné práce, tedy k větší spotřebě energie.

$$v = 2z \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

kde v je střížná vůle (v mm)
 z je střížná mezera (v mm)

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

kde c je koeficient dle tvrdosti plechu ($c = 0,005 \div 0,035$)
 s je tloušťka materiálu
 τ_{ps} je pevnost ve střihu

Výpočet střížné síly je dán vztahem (2.3).

$$Fs = L \cdot S \cdot \sigma \cdot n, \quad (2.3)$$

kde střížný odpor $\sigma = 0,8 \cdot R_m$

střížná plocha $L = l \cdot s$, kde l je délka střihu

n je koeficient zohledňující stírací sílu, případné nerovnoměrnosti tloušťky plechu, nerovnoměrnost napjatosti a opotřebení střížných nástrojů, $n = 1,0$ až $1,3$

Střížnou práci získáme ze střížné síly dle vztahu 2.4.

$$As = \lambda \cdot Fs \cdot s \quad (2.4)$$

kde λ je součinitel plnosti.

Součinitel plnosti je determinován tloušťkou plechu a druhem a tvrdostí materiálu. Pro zvolenou tloušťku užitého materiálu nabývá λ hodnotu 0,5.

- **Přesné stříhání**



Tato technologie se využívá, je-li požadována kvalitní, hladká kolmá střížná plocha (viz obr. 14) s vysokou přesností střížných ploch, v rozmezí IT6 – IT9. Principem této metody stříhání je rozšíření pásma plastické deformace na celou vrstvu stříhaného materiálu, a to buď vytvořením stavu trojosé napjatosti či předstřížením požadovaného tvaru s následným odstřížením malého množství přebytečného materiálu.

Obr. 14 Přesné stříhání [37]

Lze využít přesného stříhání s tlačnou hranou, stříhání se zaoblenou střížnou hranou, přistříhování anebo stříhání se zkoseným přidržovačem. Nevýhodou technologie přesného stříhání je vyšší cena výstřižku, nutnost použití materiálu vhodného pro přesné stříhání a vyšší nároky na nástroj. Při využití nástroje s tlačnou hranou je v místě kontaktu hrany střížníku se stříhaným plechem před dosednutím střížníku vytvořen tlačnou hranou stav víceosé napjatosti, v jehož důsledku dojde k vystřížení součásti s hladkou střížnou plochou. Je nutno použít dvojčinný lis, který v prvním kroku zajistí dosednutí tlačné hrany a až v druhém kroku dosednutí samotného střížníku. Technologie přesného stříhání je proto v porovnání s běžným stříháním náročnější z pohledu konstrukce lisu ale i konstrukce nástroje, která je složitější z důvodu zařazení zmíněné tlačné hrany.

Je využit vyhazovač, aby nedošlo k dolomení výstřižku před koncem zdvihu. Celkovou sílu při přesném stříhání je možno vypočítat dle vztahu (2.5).

$$F_c = F_s + F_p + F_v \quad (2.5)$$

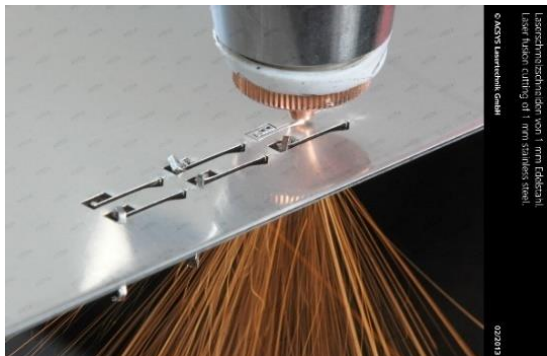
kde F_s je střížná síla
 F_p je síla přidržovače
 F_v je síla vyhazovače

V případě řešené součásti není požadována přesnost, které by nebylo možno dosáhnout běžným stříháním, a proto s ohledem na náklady a náročnost nevolím v návrhu technologii výroby součásti žádnou z metod přesného stříhání.

Při volbě technologie dělení materiálu byly ve společnosti Hettich zvažovány varianty řezání vodním paprskem, řezání laserem a stříhání v nástroji. Varianta řezáním plazmou nebyla při technologické přípravě výroby reflektována. Řezání vodním paprskem bylo zamítnuto navzdory konkurenceschopné ceně z důvodu nižší kvality řezné hrany a zejména kvůli vyšší náchylnosti řezné hrany ke korozi. Pro prototypovou výrobu bylo zvoleno řezání laserem, které bylo v sériové výrobě nahrazeno stříháním. Mezi možné varianty patřilo stříhání v jednoduchých nástrojích a stříhání v postupovém nástroji. Na základě kalkulace ceny a požadovaného množství bylo rozhodnuto o výrobě v postupovém nástroji. Protože bylo výhodnější sloučit operace stříhání a ohýbání v jednom nástroji, byl zkonstruován sdružený nástroj, který byl vyroben ve společnosti Hettich na náklady odběratele.

- **ezání laserem**

Principem této metody je zaměření úzkého světelného svazku, který ohřeje a odpaří materiál. Dochází ke vzniku tepelně ovlivněné oblasti, tato oblast ale může být díky vysokému výkonu



laseru jen minimální, a tak zůstávají zachovány fyzikální i chemické vlastnosti děleného materiálu. Velkým benefitem této metody je i to, že oproti mechanickému dělení materiálu nedochází k opotřebení nástroje, není potřeba speciálního přípravku pro uchycení obrobku, což vede k výraznému snížení času na doplnění zpracovávaného materiálu. Důvodem pro rostoucí využití této technologie je zejména rychlá reakce na požadavky zákazníka a také vysoká přesnost řezu a kvalita povrchu výrobku, viz obr. 12.

Obr. 12 řezání laserem [39]

Využití této technologie je efektivní při řezání velkého počtu obdobných dílů a u malosériové výroby. Při změně konfigurace detailu nevyžaduje laserové zařízení dodatečnou montáž jakýchkoliv součástí, a proto umožňuje pokračovat v řezání bez zastavení obrábění plechu, pouze změnou řídícího programu (výkresu). Laserové řezací stroje dovolují řezání materiálu po zcela libovolném obrysu, který při řezání laserem samozřejmě není limitován tvarem stříhání, což vede k vysoké variabilitě. Řezání laserem rovněž poskytuje nejvyšší kvalitu zpracování. Oproti stříhání v nástroji je ale vyšší cena za kus, a proto se v sériové výrobě této součásti používá právě stříhání v nástroji. Své uplatnění nachází řezání laserem i při vhodného rozvinutého tvaru. Až poté, co zákazník rozvinutý tvar schválí, je zkonstruováno a zhotoveno stříhadlo.

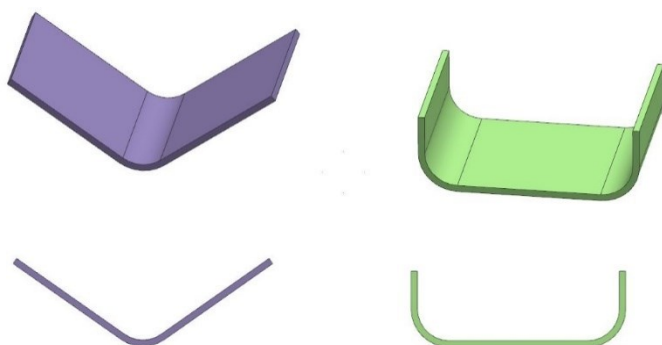
V literatuře [20] se uvádí i řezání za působení souosého vodního paprsku, podporujícího řezání vláknovým laserem. Sami autoři však uvádí, že testy u ocelí ale prokázaly spotřebování většího množství energie v porovnání s řezáním laserem za pomoci plynu v důsledku absorpce laserového paprsku vodou a rozptýlu v místě interakce.

- **Stříhání / vystřihování**



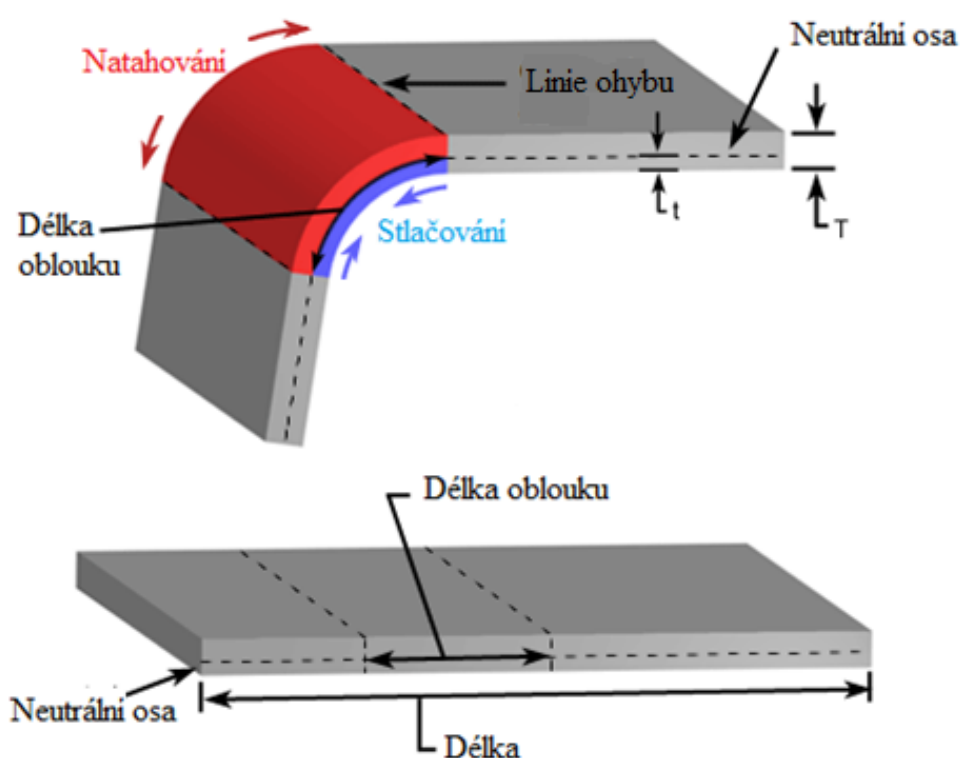
Obr. 13 Stříhání [35].

Stříhání je nejčastěji používanou technologií dělení plechů. Stříhání je možno provádět ručně nebo strojně. Z hlediska použitých nástrojů se rozlišuje stříhání nožkami a stříhání jinými stříhacími nástroji, viz obr. 13. Stříhání nožkami nebylo pro danou součást vzhledem k jejímu charakteru uvažováno, a proto se v textu zabývám již pouze stříháním ve stříhadlech. Taktéž v textu dále nezmiuji stříhání na elastických stříhadlech dělení materiálu za studena lámáním, které jsou pro zvolenou součást také nevhodné.



Obr. 17 Příklad V a U ohybu

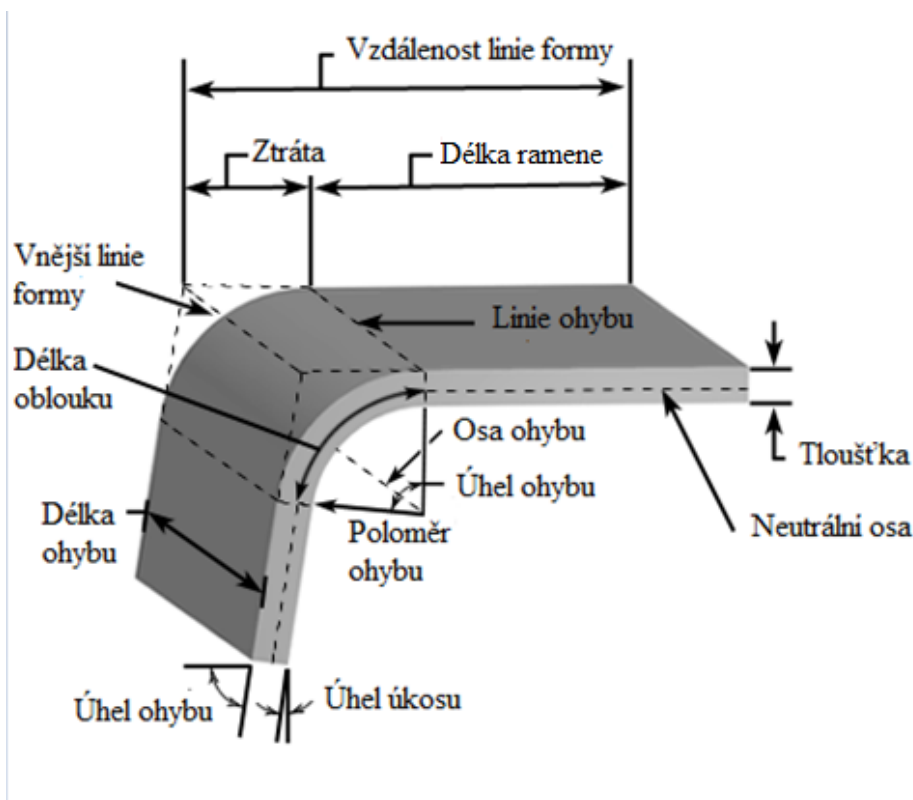
Při ohýbání se materiál na vnitřní straně ohybu stlačuje, vzniká zde tlakové napětí, a na vnější straně natahuje, je zde tedy tahové napětí, viz. obr. 18. Hranicí mezi natahovanou a stlačovanou vrstvou je tzv. neutrální vrstva, v literatuře označovaná také jako neutrální vlákno. V této vrstvě je nulové napětí, vlákno se ani nenatahuje ani nestlačuje, zůstává stejně dlouhé a jeho délka



odpovídá délce rozvinutého polotovaru. Neutrální vrstva se v případě malého poloměru zaoblení posouvá do oblasti stlačení a neprochází již těžištěm tělesa. Na základě polohy neutrální vrstvy lze spočítat rozvinutou délku, tj. délku výchozího polotovaru pro ohýbání a také minimální poloměr ohýbání.

Obr. 18 Neutrální osa [33]

Další pojmy užívané v technologii ohýbání jsou znázorněny na obr. 19 v diagramu ohýbání. Pod obrázkem je uvedena legenda objasňující pojmy z obrázku.



Obr. 19 Diagram ohýbání [33]

Legenda [34]:

- *Linie ohybu* vyznačuje konec ramene a začátek ohybu.
- *Vnější linie formy* je místo, kde by se setkaly vnější plochy obou ramen; definuje hranu formy která by ohýbala plech.
- *Délka ramene* je délka ramene od okraje plechu k ohybu
- *Vzdálenost dráhy formy* určuje vzdálenost od obou konců plechu k vnější linii formy.
- *Ztráta* je vzdálenost od linie ohybu k vnější linii formy.
- *Osa ohybu* je přímka definující střed, kolem něhož je plech ohýbán.
- *Délka ohybu* je měřena podél osy ohybu.
- *Poloměr ohybu* označuje vzdálenost od osy ohybu k vnitřnímu povrchu materiálu, mezi liniemi ohybu. Někdy jsou určeny jako vnitřní poloměr ohybu. Vnější poloměr ohybu se rovná poloměru vnitřního ohybu plus tloušťce plechu.
- *Úhel ohybu* = úhel měřený mezi ohnutým ramenem a jeho původní polohou, tedy úhel mezi kolmicemi odváděnými od linií ohybu.
- *Úhel úkosu* je volný úhel k úhlu ohybu.

Výpočet rozvinuté délky je rozdílný pro malý poloměr ohybu (vztah 2.6) a pro velký poloměr ohybu (vztah 2.7). Zatímco u velkého poloměru ohybu se rozvinutá délka L_v získá jako prostý součet jednotlivých dílčích délek neutrálního vlákna, je nutno pro výpočet L_m u malého poloměru ohybu korigovat polohu neutrální vrstvy mimo těžiště. Toto lze zjednodušit pro pravoúhlé ohyby pomocí tabelované hodnoty v [4], jejíž hodnota je závislá na vnitřním poloměru ohybu a tloušťce plechu. Hodnota N udává počet pravoúhlých ohybů.

$$L_v = l_1 + l_2 + l_3 + \dots \quad (2.6),$$

kde l_1, l_2, l_3 -

$$L_m = l_1 + l_2 + l_3 + \dots - N \cdot v \quad (2.7)$$

Kde N - počet pravoúhlých ohybů

v - koeficient - tabelovaná hodnota pro pravoúhlé ohyby

Pro zjištění délky oblouku (vztah 2.8) je nutno zjistit poloměr neutrální vrstvy ρ (vztah 2.9), který získáme jako součet poloměru zaoblení a tloušťky ohýbaného materiálu vynásobené součinitelem posunutí neutrální vrstvy, viz tab. 2. Délka oblouku se poté vypočítá jako součin hodnoty π , poloměru neutrální vrstvy ρ a úhlu ohybu α , dělený 180.

$$L = \frac{\pi \cdot \rho_o \cdot \alpha}{180} \quad (2.8)$$

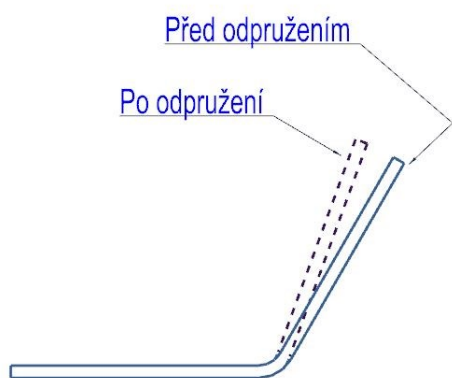
kde ρ_o - poloměr neutrální vrstvy

$$\rho = r + x \cdot s \quad (2.9),$$

kde x je tabelovaná hodnota dle poměru poloměru ohybu a šířky materiálu (tab. 2)

Tab. 2 Hodnoty součinitele x [5]

$\frac{R}{s}$	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	15,0
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,424	0,486	0,492



K ohýbání dochází při napětích v rozmezí meze kluzu a meze pevnosti. Nad mezi kluzu dochází k plastické deformaci, na mezi pevnosti už dochází k porušení materiálu, což je v případě ohýbání velmi nežádoucí. Současně s plastickou je deformací je ale nad mezi kluzu před odtižením přítomna i deformace elastická. Ta je příčinou tzv. odpružení (viz obr. 20) po odlehčení po ukončení silového či momentového působení během ohýbání. Jde o jev, v jehož důsledku neodpovídá tvar a rozměr dílce rozměrům daným nástrojem. Úhel odpružení lze získat výpočtem dle empirických vzorců nebo odečíst z tabulek.

Obr. 20 Odpružení [17]

Velikost odpružení je závislá na mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu, jeho tloušťce, poměru poloměru ohybu k tloušťce materiálu, velikosti úhlu ohybu, na konstrukci ohýbacího nástroje a na způsobu ohýbání. Odpružení lze korigovat změnou úhlu ohybu o hodnotu odpružení, zpevněním materiálu v místě ohybu, vyztužením vylisovanými žebry apod. Další možností korekce odpružení je využití kalibrace, tedy zvětšení lisovací síly na konci lisovacího cyklu, v místě ohybu poté dochází k místně plastické deformaci, která hodnotu odpružení velmi výrazně sníží. Eliminovat odpružení lze i úpravou ohýbacích nástrojů či způsobu ohýbání. Na řešené součásti bylo u V ohybu využito tří prolisů, které odpružení eliminovaly.

Důležitými parametry, které je nutno sledovat u ohýbání, je maximální a minimální hodnota poloměru ohybu, které se liší dle profilů. Poloměrem ohybu rozumíme vnitřní poloměr

ohnutého výrobku. Minimální poloměr ohybu je hraniční hodnota ohybu, která udává, kdy ještě nedojde ke vzniku trhlin. Pokud bychom volili poloměr ohybu menší než minimální, objevovalo by se porušení materiálu na vnější, tahové, straně, neboť po překročení R_m , tedy meze pevnosti v tahu, dochází k porušení celistvosti materiálu. Minimální poloměr ohybu lze spočítat dle vztahu (2.10), kde s je tloušťka materiálu a c je koeficient, který pro ocel nabývá hodnoty cca 0,5. Naopak maximální poloměr ohybu udává hranici, po jejímž překročení vůbec nedochází k plastické deformaci, je přítomna pouze elastická deformace, která po odtížení vymizí a materiál se vrací do původního stavu před ohýbáním. Maximální poloměr R_{max} lze spočítat dle vztahu (2.11).

$$R_{min} = c \cdot s \quad (2.10)$$

$$R_{max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (2.11)$$

Kde E je Youngův modul pružnosti (pro ocel $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa)

Ohýbání probíhá v nástroji, ohybadle, které se skládá z pohyblivého ohybníku a z ohybnice. Poloměr zaoblení ohybníku r_p je dán tvarem ohýbané součásti. Minimální zaoblení součásti je dáno stejným vztahem k tloušťce materiálu jako minimální poloměr ohýbání součásti R_{min} (2.10).

Poloměr zaoblení ohybnice r_m determinuje velikost ohýbací síly i jakost povrchu ohýbané součásti a je obecně brán jako dvojnásobek až šestinásobek tloušťky materiálu (2.12). Se snižujícím se poloměrem zaoblení ohybnice narůstá ohýbací síla.

$$r_m = R_1 = (2 \div 6) \cdot s \quad (2.12)$$

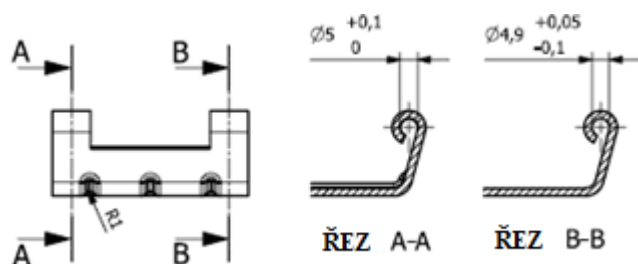
Práce je zaměřena na ohýbání řešené součásti z výstřižku plechu, není tedy řešeno ohýbání v kleštích s kuželovými čelistmi apod. Ohýbání probíhá u delších součástí v ohýbačkách, u kratších součástí jsou používány ohraňovací lisy, přičemž je plech vtlačován profilovaným ohybníkem do profilované ohybnice. K zakružování, viz obr. 21, jsou využívány zakružovačky a spirálové pružiny jsou vyráběny v pružinových automatech.

Vztah pro výpočet ohýbací síly je uveden ve vztahu (2.13)

$$F_o = L_a \cdot s \cdot R_m \cdot 0,6 \quad (2.13),$$

kde L_a je délka ohybu

Výpočet ohýbací síly pro řešenou součást je uveden v praktické části práce v kapitole Výpočet řezných, tvářecích a ohýbacích sil.



Obr. 21 Zakružování řešené součásti [29]

2.3 ADITIVNÍ VÝROBA [12; 13, 16, 31, 38]

Aditivní výroba (z anglického Additive Manufacturing, AM), označovaná také jako trojrozměrný tisk – 3D tisk, je oblastí, která v posledních letech prochází prudkým rozvojem. Jak napovídá její další označení, Rapid prototyping, v překladu do češtiny rychlá tvorba prototypů, nacházela tato technologie dříve uplatnění zejména v oblasti prototypové výroby. AM se v současné době dělí na sedm různých technologií, některé z nich lze využít i pro

zpracování kovů.

Využití této technologie se v praxi stále

rozšiřuje a potenciál má

také v oblasti tváření plechů

(obr. 22), kde ale ještě zejména

z cenového hlediska nemůže

v sériové výrobě konkurovat

konvenčním technologiím.



Simulace



3D barevný tisk

Obr. 22 Obloukovitá pružná podložka [16]

Výhodou použití technologie AM je zejména možnost vytvořit tvary, kterých není možno dosáhnout tvářením, možnost přímého využití CAD dat, zkrácení doby vývoje a rychlejší reakce na přání zákazníka, ověření tvaru a vlastností výrobku před investicí do nástrojů či forem, v souvislosti a při ohýbání v neposlední řadě i eliminace odpružení. Protože není nutno vyrábět složité nástroje, může být v případě kusové výroby aditivní technologie levnější než konvenční technologie. Aditivní výroba je výhodná i z pohledu ekologie. Při výrobě nevzniká odpad, odpadá nutnost dopravy dílů na dlouhé vzdálenosti v důsledku toho, že díly je možno často vyrábět přímo v místě odběru či v jeho blízkosti, neboť data pro jejich výrobu je možno v elektronické podobě snadno přenést. Často by tak technologie aditivní výroby byla schopna odstranit i složité logistické procesy při zajišťování dodávky náhradních dílů např. na vojenské lodě působící v teritoriích vzdálených domovskému přístavu ale i v jiných složitých situacích. Protože je z výše uvedeného důvodu aditivní výroba také v oblasti zájmu armádního výzkumu, lze očekávat výrazné technologické pokroky v oblasti jejího dalšího využití a její optimalizace, která by mohla vést k jejímu širšímu využití v komerční ale i soukromé sféře.

Vývoj v této oblasti směřuje k rozvoji stále výkonnějších zdrojů energie, dosahování vyšší produktivity, vyšší homogenity dílů, ale také ke snižování složitosti a nákladů na samotný 3D tisk, které by vedlo k jeho většímu rozšíření a případnému využití i v sériové výrobě.

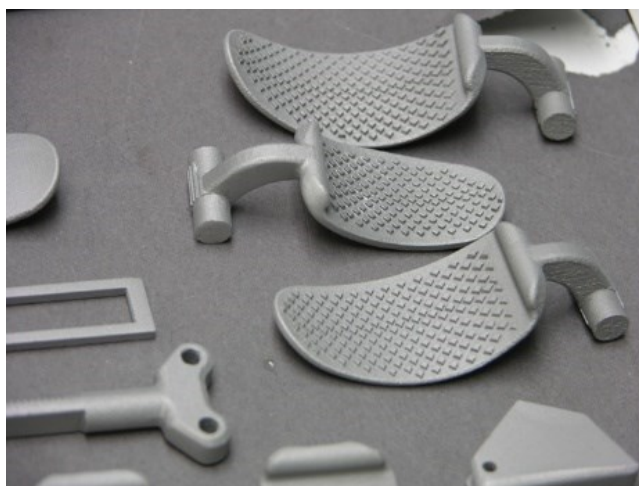
MPA (Metall-Pulver-Auftrag), v překladu do češtiny nanášení kovového prášku (obr 23), je využívána zejména při výrobě nástrojů a forem. MPA spočívá v žárovém nástřiku, kdy jsou



urychlené částice prášku nanášeny tryskou na příslušný podklad a po jednotlivých vrstvách tak vzniká pevné těleso. K výrobě prototypů slouží např. metoda SLM (Selective Laser Melting), tedy selektivní laserové tavení. Při této metodě je tenká (20 – 100 mikrometrů) vrstva kovového prášku nanesena na základní desku a tavena vysoce výkonným laserem nebo elektronovým paprskem.

Obr. 23 Kovový prášek pro výrobu kovových dílů aditivní technologií [38]

Kovové díly jsou také vyráběny metodou DMLS (Direct Metal Laser Sintering), kdy je opět



kovový prášek vrstven a taven pomocí koncentrovaného paprsku energie, v tomto případě laseru. Tyto technologie je využívány zejména v prototypové výrobě dílů, které jsou poté sériově vyráběny konvenčními technologiemi, tedy obráběním, tvářením či odléváním. Tato metoda je přínosná zejména u geometricky složitějších dílů. Středně velké složitě strukturované díly jsou vyráběny i metodou laserového tavení LMS (Laser Metal Fusion).

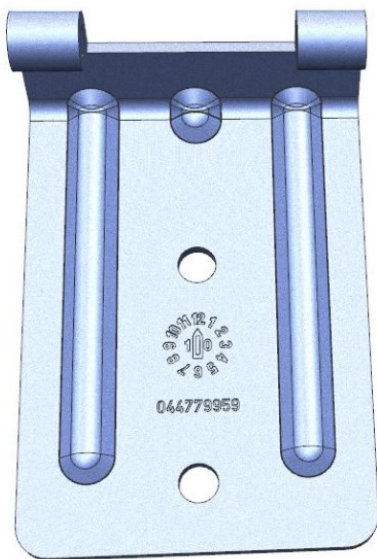
Obr. 24 Prototypové díly [19]

Aditivní výroba je v některých případech kombinována s obráběcími operacemi a je poté označována jako hybridní výroba, HM (Hybrid Manufacturing). Toto spojení umožňuje kombinovat výhody obou technologií výrobu dílů. Aditivní výroba je také často následována dokončovacími operacemi, při nichž jsou obráběny funkční plochy, leštěny pohledové plochy apod.

Technologie 3D tisku je v současné době využitelná pro výrobu mnoha typů dílů v malých a středních sériích. Ačkoli je rozvoj této technologie velmi intenzivní, zůstávají konvenční technologie stále nezastupitelné. Výzkum v této oblasti probíhá na mnoha univerzitních pracovištích, téma je prezentováno na vědeckých konferencích a postupně je s ním seznamována i veřejnost. Očekává se, že růst aditivní výroby o desítky procent ročně bude probíhat i v následujících letech. Vzhledem k charakteru řešené součásti a objemu její výroby je aditivní výroba možnou, nikoli však výhodnou metodou výroby, a proto není v praktické části práce dále zmiňována.

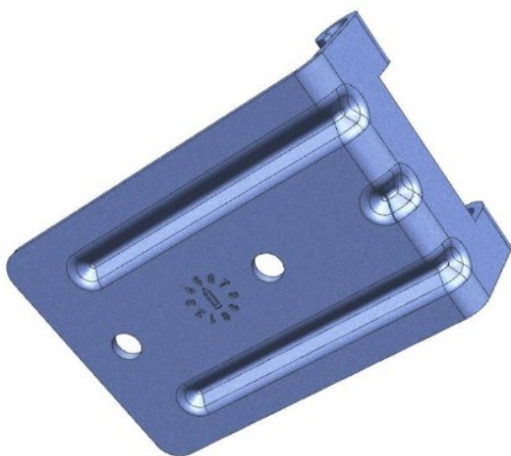
2.4. LISOVÁNÍ ZNAČKY A PROLISŮ [2; 29]

Lisování značky a prolisů je prováděno technologií tváření za studena, pomocí razidla. U řešené součásti použita ke zhotovení značky, změnového indexu a prolisů. Značka, viz obr. 25, na horní straně řešené součásti, obsahuje informaci o měsíci a roku výroby dílu. Devítimístné číslo, uvedené pod datem výroby, je označením dílu v databázích zákazníka a je proto u všech kusů řešeného dílu stejné. Na spodní straně dílu je vyražen změnový index, označující číslo změny dle výkresu. V postupovém nástroji je možno razidlo značky snadno vyjmout a vyměnit, neboť je umístěno na kraji nástroje a zajištěno pouze dvěma dobře přístupnými šrouby. Zmíněné řešení bývá voleno u sdružených nástrojů z důvodu pravidelné výměny po každé směně u mnoha podobných dílů. Značka je pro každou směnu měněna za účelem umožnění identifikace směny pro případ, že by bylo došlo k problémům s kvalitou dílu a bylo nutno prověřit i jiné díly vyráběné ve stejné době.



Obr. 25 Vylisovaná datumová značka a číslo dílu [29]

Lisování bylo také využito pro vytvoření prolisů. Prolisy jsou u V ohybu užity k eliminaci odpružení a v podélné části řešené součásti slouží k vyztužení závěsu tak, aby bylo dosaženo vyšší tuhosti bez nutnosti zvýšit tloušťku materiálu.



Obr. 26 Prolisy [29]

Tvářecí sílu je možno vypočítat dle vztahu (2.14), kde zohledníme tvářené (ražené) plochy, tloušťku materiálu, resp. hloubku, do které je značka ražena, a mez pevnosti zvoleného materiálu.

$$F_{tv} = L_{tv} \cdot h \cdot R_m$$

(2.14),

kde L_{tv} je obvod tvářené (ražené) plochy
 h je hloubka vniku razidla.

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 VÝPOČET ŘEZNÝCH, OHÝBACÍCH A TVÁŘECÍCH SIL [5; 7; 29]

Ke stanovení velikosti celkové síly je nutno nejprve získat velikosti střížných, ohýbacích a tvářecích sil k vylišování prolisů a značek. Celková síla, na jejímž základě je při zohlednění bezpečnostního koeficientu dle nominální hodnoty vybírán vhodný lis, je potom součtem výše uvedených sil. Hodnoty střížného obvodu, tedy délky stříhu l , ohybového obvodu L_o a obvodu tvářené oblasti L_{TV} jsou získány v software Siemens NX 10 přímo z modelu sdruženého nástroje. Mez pevnosti (R_m) zvoleného materiálu je 410 MPa, tloušťka plechu je 2,2 mm.

Výpočet celkové střížné síly vychází ze vztahu (2.3) z teoretické části práce. Získaná hodnota délky stříhu L celkem činí po zaokrouhlení 1400 mm. Po dosazení do vztahu (2.3) při stanovení koeficientu n zohledňujícího vnější vlivy při stříhání ve výši 1,3 je získána hodnota celkové střížné síly. Přesnost výpočtu je ovlivněna empirickým stanovením koeficientu a přesností stanovení délky stříhu.

$$F_s = L \cdot s \cdot \sigma \cdot n = 1400 \cdot 2,2 \cdot 0,8 \cdot 410 \cdot 1,3 = 1313312 \text{ N} \doteq 1313 \text{ kN}$$

Celková střížná síla činí po zaokrouhlení cca 1313 kN.

Ohýbací síla vychází ze zjednodušeného vztahu (2.13), ohybový obvod činí 84 mm, šířka plechu je 2,2 mm.

$$F_o = L_l \cdot s \cdot R_m \cdot 0,6 = 84 \cdot 2,2 \cdot 410 \cdot 0,6 = 45460,8 \text{ N} \doteq 45,5 \text{ kN}$$

Bezpečnostní koeficient byl stanoven ve výši 1,2; tímto koeficientem byla vynásobena ohýbací síla dle vztahu (2.13).

Celková ohýbací síla vychází po zohlednění bezpečnostního koeficientu cca 55 kN.

Tvářecí sílu, tedy sílu na vylišování značek a prolisů, lze získat jako součin obvodu tvářené oblasti L_{tv} , tloušťky plechu a meze pevnosti materiálu. Hloubka vniknutí do materiálu u značky činí cca 0,2 mm, prolisy jsou tvářeny v celé tloušťce materiálu. Tvářecí sílu je tedy počítat zvlášť pro značky (F_{tv1}) a zvlášť pro prolisy (F_{tv2}).

Po dosazení do vztahu (2.14) a sečtení hodnot F_{tv1} a F_{tv2} je výsledkem tvářecí síla F_{tv} .

$$F_{tv1} = L_{tv} \cdot h \cdot R_m = 200 \cdot 0,2 \cdot 410 = 16400 \text{ N} \doteq 16 \text{ kN}$$

kde R_m je mez pevnosti materiálu, pro zvolený materiál činí 410 MPa.

$$F_{tv2} = L_{tv} \cdot h \cdot R_m = 130 \cdot 2,2 \cdot 410 = 117260 \text{ N} \doteq 117 \text{ kN}$$

$$F_{tv1} + F_{tv2} = F_{tv}$$

$$16 + 117 = 133 \text{ kN}$$

(3.1)

Bezpečnostní koeficient je stanoven s hodnotou 1,2. Celková síla nutná k vyražení značek a prolisů při zohlednění bezpečnostního koeficientu je 160 kN.

Celková lisovací síla, vztah (3.1), je součtem celkové střížné síly, ohýbací síly a tvářecí (razící) síly.

$$F = F_s + F_o + F_{tv}$$

(3.2)

$$F = 1313 + 55 + 160 = 1528 \text{ kN}$$

Celková lisovací síla činí po zaokrouhlení 1528 kN.

3.2 VOLBA LISU [2; 4; 29]

Lis je volen dle celkové lisovací síly. Z důvodu zajištění bezpečnosti je lisovací síla při výpočtu jednotlivých složek násobena bezpečnostním koeficientem 1,2. Výpočty jsou vzhledem k využití empirických koeficientů pouze přibližné. I v případě, že by byl použit bezpečnostní koeficient 1,5 a celková síla na lisu by činila cca 2400 kN, by měl zvolený lis dostatečnou nominální sílu.



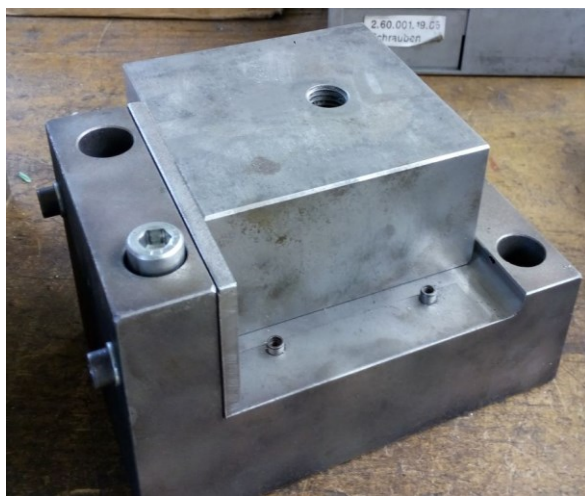
Celková lisovací síla činí 1528 kN. Pro sériovou výrobu řešené součásti ve sdruženém nástroji je proto hledán lis o nominální síle 1600 kN a výše. Pořízení lisu je značnou investicí, a proto se podniky snaží o maximální využití kapacit stávajících lisů. Ačkoli by k výrobě řešené součásti ve sdruženém nástroji stačil lis s nižší nominální silou, bylo k výrobě řešené součásti využito volné kapacity rámového mechanického lisu, typ ZH 2500 – 2000 NG s nominální silou 2500 kN, jehož specifikaci uvádím v příloze 5 této práce.

Obr. 27 Lis, typ ZH 2500 – 2000 NG [29]

3.3. VÝROBA PROTOTYPŮ NA JEDNODUCHÝCH NÁSTROJÍCH [7; 11; 29]

Prototypové díly byly do požadovaného tvaru a rozměrů vyříznuty laserem a ohyby byly lisovány na jednoduchých nástrojích.

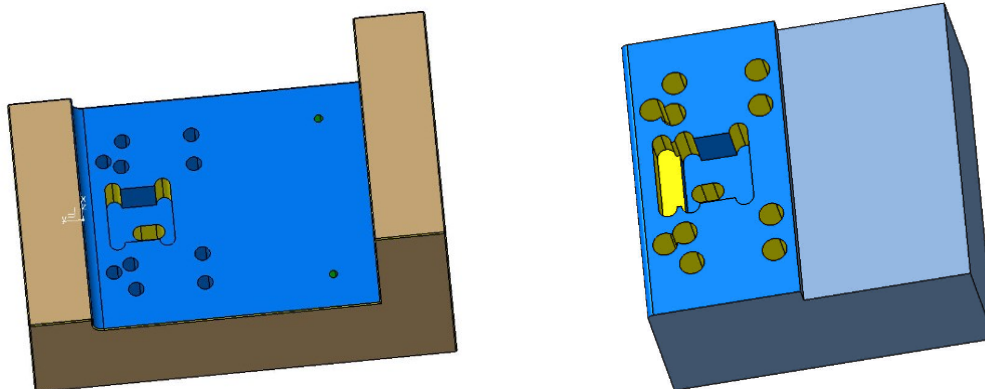
Postup ohýbání řešené součásti byl stručně nastíněn v teoretické části. Nejprve je proveden první ohyb, tzv. nadhyb, tvořící základ pro rolování, v 2. kroku je provedeno rolování. V posledním kroku ohýbání je proveden V ohyb o 115°.



Poloměr rolování je pro obě vystupující části řešeného dílu rozdílný z důvodu usnadnění montáže osičky, která je do řešené součásti naražena před jejím odesláním k povrchové úpravě kataforézou. Při stejné délce obou vystupujících částí výstřižku (19,4 mm) je rozdílného poloměru rolování (4,9 mm a 5 mm) dosaženo menším opásáním, tj. menším zarolováním jedné z vystupujících částí výstřižku o cca 0,3 mm.

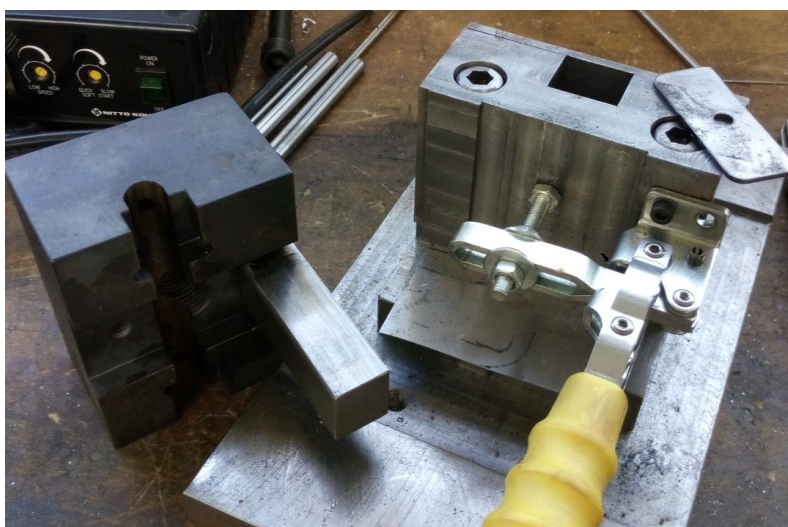
První ohyb, tzv. nadhyb je při výrobě prototypu proveden v jednoduchém nástroji, který je na obr. 28. Vizualizace spodní a horní části nástroje je na obr. 29.

Obr. 28 Jednoduchý nástroj pro první ohyb [29]

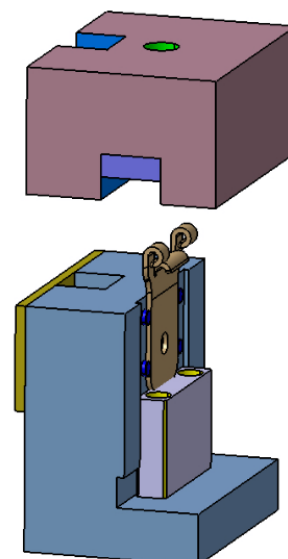


Obr. 29 Vizualizace jednoduchého nástroje pro první ohyb [29]

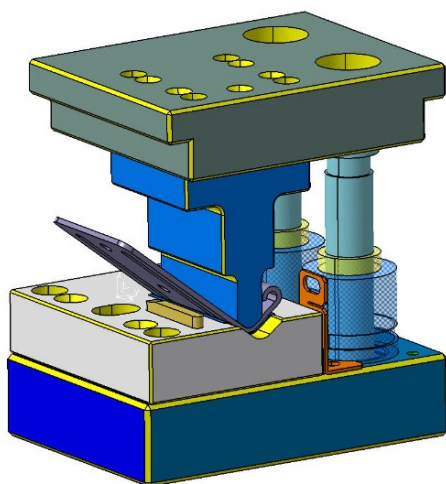
Rolování je provedeno v jednoduchém nástroji na obr. 30. Vizualizace rolování podobného dílu je uvedena na obr. 31.



Obr. 30 Nástroj pro V ohyb [29]



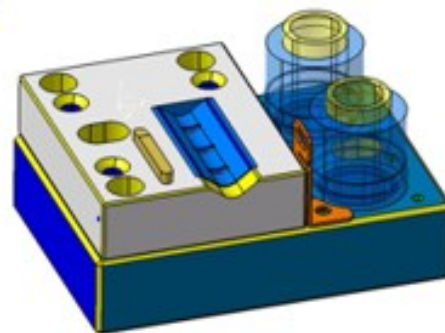
Obr. 31 Vizualizace nástroje [29]



Obr. 32 Ohýbací nástroj pro poslední operaci [29]

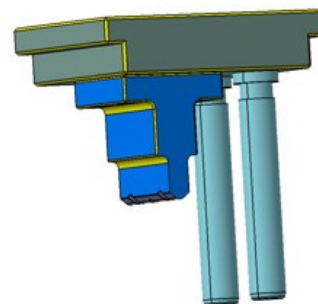
Obr. 32 je vizualizací jednoduchého ohybadla určeného k dosažení V-ohybu v posledním kroku ohýbání. Na obrázcích 33 a 34 je znázorněna horní a spodní část uvedeného nástroje. Nástroj je dohromady smontován pomocí šroubů a kolíků. Protože je tento jednoduchý nástroj postupně používán v nástrojárně pro různé prototypové díly, je jeho konstrukce volena univerzální a po výměně ohybníku a ohybnice je dále využit. To vede ke snížení celkových nákladů

Dolní část jednoduchého ohýbacího nástroje je vymodelována na obr. 33. Na modře vizualizované základové desce je umístěna pevná šedá ohybnice určená pro V ohyb. Díl vyráběn v nástrojárně pouze jako prototyp a nástroj není určen k pozdější sériové výrobě, ohybadlo je vybaveno zakládacími dorazy, na vizualizaci je jeden z nich označen oranžovou barvou. Po každém kroku je součást ručně vyjmuta z nástroje, není proto opatřen vyhazovačem. Kruhové díly v spodní části nástroje jsou pouzdra, v nichž se při lisování pohybují sloupky.



Obr. 33 Ohybnice [29]

Horní část ohýbacího nástroje, viz obr. 34, ohybník, je upevněn na stopce a pohybuje se na sloupcích uložených v pouzdrech. Ohybnice je připevněna k základové desce, ohybník je ukotven v kotvící desce. Funkčními částmi jednoduchých ohýbacích nástrojů, ohybadel, jsou pohyblivý ohybník a pevná ohybnice. Vztahy pro výpočty jejich parametrů jsou uvedeny v teoretické části práce.



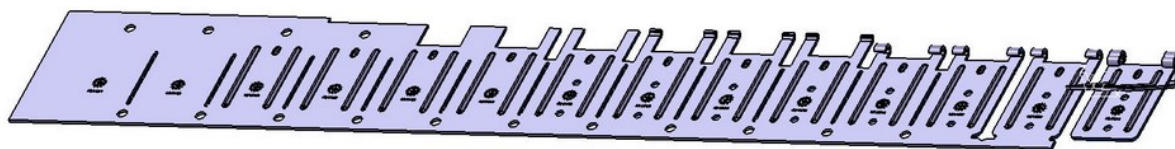
Obr. 34 Ohybník [29]

Při zvažování možností pro sériovou výrobu bylo zvažováno více alternativ. Mezi možné varianty patřilo stříhání v jednoduchých nástrojích a ohýbání v postupovém nástroji. Na základě kalkulace ceny a požadovaného množství, kterou uvádí v kapitole technicko - ekonomické hodnocení, bylo rozhodnuto o výrobě v postupovém nástroji. Protože bylo výhodnější sloučit operace lisování, stříhání a ohýbání v jednom nástroji, byl zkonstruován sdružený nástroj, který byl vyroben ve společnosti Hettich na náklady odběratele.

3.4 NÁSTŘIHOVÝ PLÁN [11; 29]

Nástřihový plán řeší umístění výstřížků na pásu plechu s cílem nejlepšího využití materiálu při dosažení požadovaných parametrů výstřížku. Nástřihový plán lze stanovit s postranním odpadem, kdy dochází ke stříhání po celém obvodu výstřížku. Tento typ plánu je použit zejména, pokud to vyžaduje přesnost výstřížku, pokud vzhledem k tvaru výstřížku nelze stříhat bezodpadově, eventuálně pokud k tomu vedou jiné technologické důvody. Jinou variantou je umístění součástky na nástřihový plán tak, že dochází ke stříhání pouze části obvodu anebo dokonce k dělení polotovaru na součástky.

Na obrázku 35 je nástřihový plán řešené součásti. Byl zvolen širší pás plechu, na němž jsou zahledávací otvory umístěny pod a nad výstřížkem. Výhodou tohoto řešení je zejména to, že při změně děrovaných otvorů v reakci na požadavky zákazníka nedochází k nutnosti změn zahledávacích otvorů, jako by tomu bylo v případě, že by se zahledávalo na děrované otvory v součásti. Tato varianta tedy ponechává větší možnost případných drobných změn výstřížku i během sériové výroby v postupovém nástroji bez nutnosti masivních změn přímo v nástroji.



Obr. 35 Nástřihový plán řešené součásti [8]

V kroku 1 je provedeno děrování prvního zahledávacího otvoru a vylisování značky. Značka obsahuje informaci o historii vyrobené součásti. Tato informace se dnes stala zcela běžným požadavkem zákazníků. Při využití značky lze snadno dohledat, kdy a kým byla součástka vyrobena a mnohem snadněji lze tedy například stáhnout případnou vadnou sérii. Značka může obsahovat údaje o dni/týdnu, měsíci, roku výroby, o směně, která součást vyráběla. Je proto nutno značku na začátku každé směny měnit. Konstrukčně je tato část nástroje vyřešena jako vysouvací a je zajištěna pouze dvěma šrouby. Každá směna tedy může nástroj na naražení značky snadno a rychle vyměnit, aniž by muselo dojít ke změně nástroje.

V kroku 2 je děrován druhý zahledávací otvor. Zahledávací otvory slouží ke kontrole rovinnosti ale také prověření přesnosti podání. Současně je proveden i technologický stříh.

V kroku 3 jsou vylisovány prolisy, aby se pás ustálil. Prolisy jsou součástí řešené součásti z pevnostních důvodů, o nichž pojednávám na konci kapitoly Rozbor zadání.

V kroku 4 je proveden přesný dostřih na požadovanou šířku pásu. Kvůli variabilitě délky rolování byl zvolen o malou hodnotu širší pás polotovaru, který je v tomto kroku zúžen tak, aby byl připraven ke kroku 5. Díky tomuto relativně malému navýšení odpadu může být ale značná úspora na nástroji, pokud by rolování nevycházelo dle požadavků zákazníka anebo pokud by během životnosti nástroje bylo nutno délku rolování měnit.

V kroku 5 je obstřih. Je odstraněna část přebytečného materiálu tak, aby bylo možno během některého z následujících kroků součást rolovat. Během tohoto kroku je odstraněn i jeden ze dvou zahledávacích otvorů. Druhý, získaný v kroku 2, ale zůstává na nástřihové plánu až do předposledního kroku.

V kroku 6 jsou děrovány přesné díry. Možností by bylo, že by tyto díry byly děrovány již na začátku střížného pásu a sloužily zároveň jako zahledávací otvory. Tato varianta ale nebyla zvolena ze strategických důvodů. Nelze vyloučit možnost požadavku na změnu těchto přesných děr během sériové výroby. Případná změna může být v této konfiguraci sdruženého nástroje

provedena mnohem snadněji, než kdyby bylo nutno posouvat či měnit kromě střížníku a části střížnice i zahledávání, jak se zmiňují v úvodu této kapitoly.

V kroku 7 se již uvolní díl k zarolování, které v následně probíhá ve dvou krocích. Nejprve se provede tzv. předhyb, tedy první ohyb, na kterém je možno provést samotné rolování.

První ohyb je proveden v kroku 8. Na nástřihovém plánu můžeme vidět, že dva kroky následující po kroku 8 jsou volné, že při nich nedochází k žádné stříhací ani ohýbací operaci.

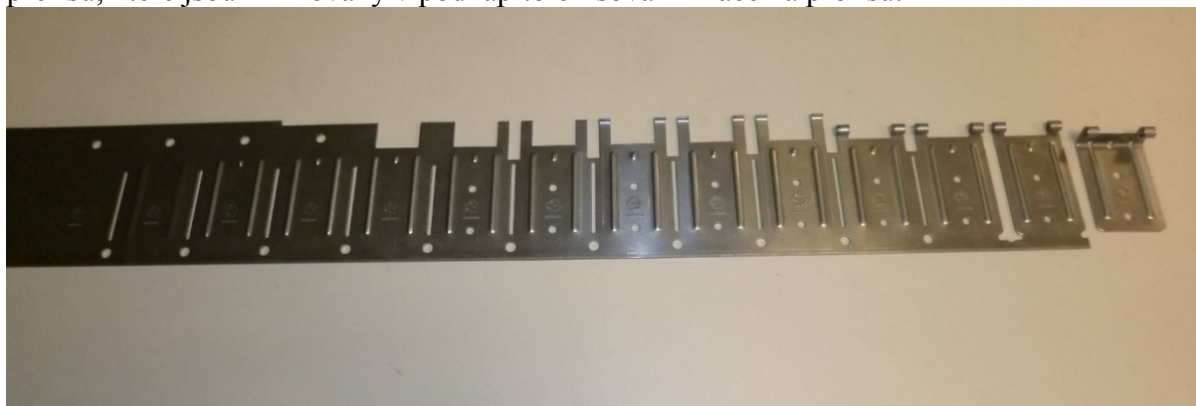
V nástřihovém plánu jsou totiž po kroku 8 zařazeny dva tzv. technologické kroky, které pro účely této práce nazvu kroky 9 a 10. Jde o kroky, v nichž nedochází k tváření materiálu, ale jsou v nástřihovém plánu umístěny pro případ nutnosti provedení změn. Umisťují se obvykle do okolí nejsložitějších kroků anebo kroků, u nichž lze v průběhu výroby očekávat požadavky na modifikaci. Je vhodné je zařazovat po každém 5. či 6. kroku. Vzhledem k jejich určení bývají v praxi také nazývány kroky jistoty.

V kroku 11 dochází k samotnému rolování. Vzhledem k uchycení a zajištění osičky, která se do hotové součásti zamontovává, nejsou oba poloměry rolování stejné. Do zarolované části s větším průměrem je při montáži osička zasunuta, do protilehlé užší zarolované strany je konec osičky těsně zalisován.

V kroku 12 už je proveden stříh, který odděluje jednu stranu výlisku od pásu plechu. V kroku 13 je ostřížena protilehlá podélná stěna a před posledním krokem na pásu plechu už zůstává součástka přichycena pouze po své šíři.

V kroku 14 se strana protilehlá k zarolované části do dvou třetin nastřihne, poté je proveden ohyb, během něhož také dojde k oddělení součásti i pásu plechu. Tento krok je nutno dobře sladit, aby nedošlo k deformacím či rozměrovým nepřesnostem. V tomto kroku je materiál vytlačován pod lehkou pružinou, aby součást nezůstala přichycena v nástroji za prolisy.

Na obrázku 36 je fotografie nástřihového plánu. V posledním kroku je řešená součást ohnuta a oddělena z pásu. Na fotografii jsou patrné prostřížené technologické otvory z důvodu lisování prolisů, které jsou zmiňovány v podkapitole lisování značek a prolisů.



Obr. 36 Fotografie nástřihového plánu [29]

3.5 KONSTRUKCE SDRUŽENÉHO NÁSTROJE [1; 2; 11; 14; 29]

Prototypové díly byly řezány laserem a ohýbány na jednoduchých nástrojích, po ověření dosažení požadovaných vlastností dílu a modifikaci podle požadavků odběratele se na základě kalkulací a při zohlednění plánovaného objemu výroby a požadovaných operací při výrobě součásti rozhoduje o využití postupového či sruženého nástroje. Výrobě nástroje předchází konstrukce, kde se při zohlednění velikosti série a požadavků zákazníka zkonstruuje vhodný nástroj.

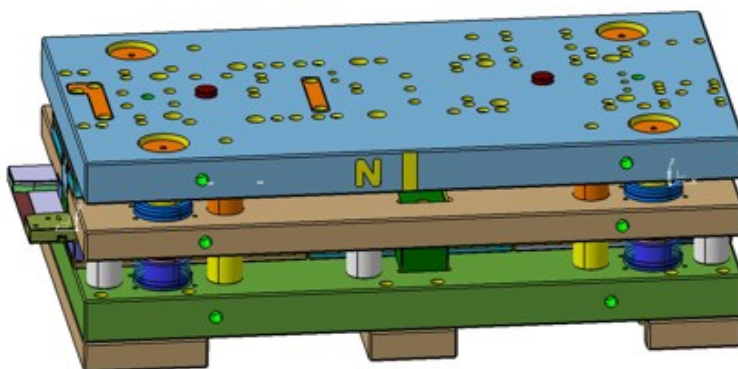
Stříhání a ohýbání v sériové výrobě často probíhá v postupových nástrojích. Jinou možností pro operaci stříhání je sloučený nástroj, kterým je celá součást vystřižena v jedné operaci. Alternativou k několika postupovým nástrojům je sružený nástroj umožňující výrobu celé součásti při jedno založení pásu plechu. Při volbě vhodného nástroje bývá rozhodujícím faktorem návratnost investice do nástroje. Tato kalkulace byla provedena a jednotlivé alternativy porovnány z nákladového hlediska. Zvažovány byly dvě varianty. Varianta 1 zahrnovala stříhání postupovým nástroji a následně založení součásti do druhého postupového nástroje sloužícího pro ohýbání. Varianta 2 spočívala ve výrobě sruženého nástroje pro stříhání a ohýbání. Ekonomické porovnání obou variant uvádím v kapitole Technicko-ekonomické hodnocení. Byla zvolena varianta 2, a to z ekonomických i technologických důvodů. Technologickými důvody jsou: zjednodušení manipulace s dílem během výroby, úspora pracovní síly při mezioperační manipulaci s díly a úspora místa pro mezioperační skladování

Sružený nástroj slouží sloučení více operací, v případě řešené součásti jde o lisování, stříhání a ohýbání. Na jeden zdvih lisu se u sruženého nástroje provádí několik operací. Na rozdíl od jednoduchých nástrojů či jednotlivých postupových nástrojů je odstraněna mezioperační manipulace se součástmi, což vede k úspoře nákladů na pracovníka zajišťující přesun součásti mezi nástroji a také k menším nárokům na skladovací prostory, neboť není nutno u stroje řešit místo na skladování součástek určených pro založení do dalšího postupového nástroje či dokonce jednoduchého nástroje. Nižší náklady se odráží ve nižší ceně za kus. Nevýhodou využití sruženého nástroje jsou vyšší fixní náklady, tedy náklady na pořízení nástroje.

Při konstrukci nástrojů, zejména stříhadel lze často s výhodou převzít normalizované díly. Použitím normalizovaných dílů dochází ke zkrácení času na výrobu nástrojů, k úspoře nákladů, ke zkrácení nutného času pro konstrukci nástroje, zvýšení životnosti nástrojů, zjednodušení jejich údržby, umožnění rychlejších oprav díky možnosti mít vybrané náhradní díly již předem

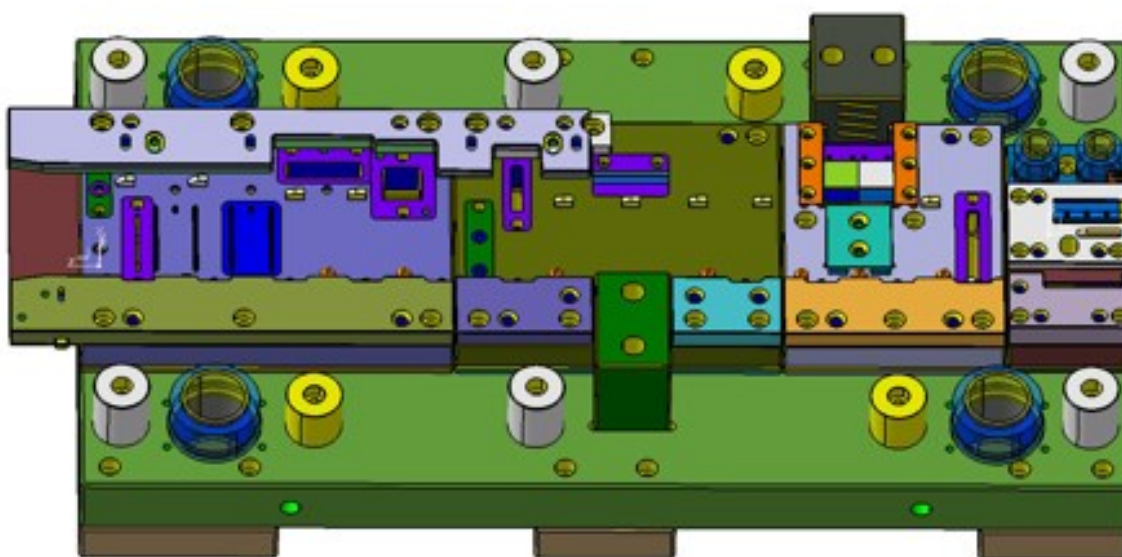
připravené ve skladu a k úspoře strojní a ruční práce.

Vizualizace celého postupového nástroje je na obr 38. K odtlačení horní a střední části nástroje při pohybu lisu nahoru po každém kroku slouží plynové pružiny.



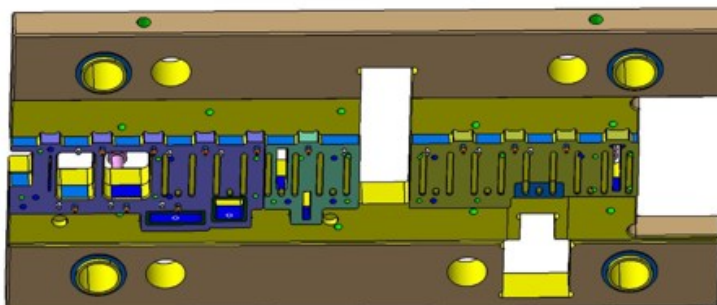
Obr. 37 Sružený nástroj [29]

Sdružený nástroj je konstruován je na základě nástřihového plánu a je sestaven tak, aby bylo možno vyměňovat jednotlivé části bez nutnosti velkých zásahů do konstrukce celého nástroje. Je zvoleno vyvložkování a maximální zjednodušení upínání jednotlivých částí nástroje do sdruženého nástroje. Vyvložkované díly jsou na obr. 38 vizualizovány tmavě fialově. Výhodou vložkování je to, že lze jednotlivé části nástroje snadno vyndat z nástroje, přebrousit a vložit zpět bez nutnosti zbrousit a tím snížit celou desku při otupení či uštípnutí jednotlivých částí střižného či ohybového nástroje způsobujících následně otřepy. Vložky jsou opřeny o desku, která je kalena, aby nedošlo k jejich zatlačení do desky. Vložky jsou zhotovovány z oceli 19 573 a kaleny na 58^{+2} HRC. Jejich výhodou je úspora kvalitního materiálu, úspora nákladů při vlastní výrobě i při tepelném zpracování a sníženo riziko trhlin a deformací ve střižnici po kalení a zejména prodloužení životnosti nástroje.



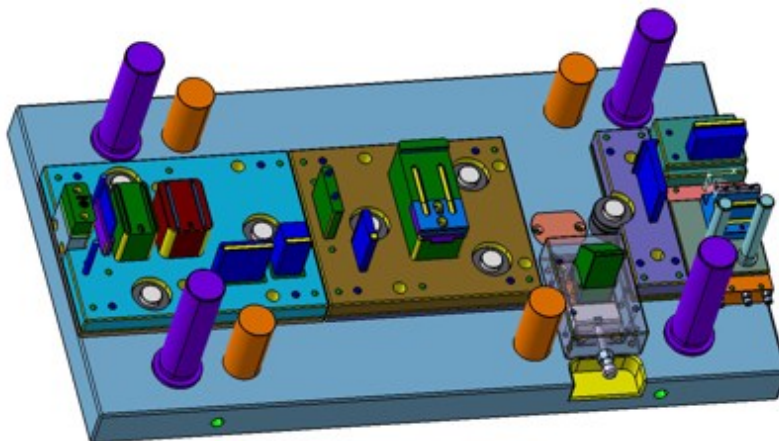
Obr. 38 Spodní část sdruženého nástroje [29]

Pohyblivé vodící desky (na obr. 39 vizualizovány hnědou barvou) drží polohu všech kalených desek proti sobě. Jsou vyrobeny z oceli 12050 a nejsou kaleny. Stírací desky (vizualizovány modře), které zároveň vedou pás plechu, jsou zhotovovány z oceli 19 312 a kaleny na 56 – 58 HRC. Prostřední deska v nástroji slouží jako odpružené vedení. V důsledku přitlačení materiálu na matrici před samotným stříhem dojde k zpřesnění výroby.



Obr. 39 Vodící desky [29]

Upínací deska (vizualizována světle modrou barvou) na obr. 40 slouží k upnutí nástroje do beranu lisu. Je upnuta pomocí upínek, přičemž lis je vybaven T drážkami pro umístění kamenů upínek. Upínací deska je vyrobena z dobře kalitelné oceli 11 373. Kotevní deska (vizualizována

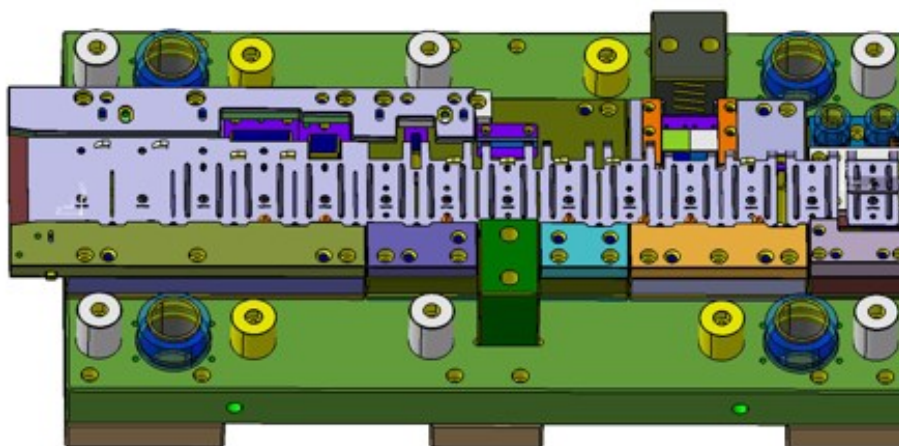


modrou a hnědou barvou) drží střižníky a ohybníky. Není kalena a je vyrobena z oceli 12050. Je-li mezi kotevní a upínací desku opěrná deska, musí být kalena na cca 56 HRC, aby nedošlo k vmáčknutí střižníků a ohybníků do desek. Střižníky a ohybníky jsou vyrobeny z oceli 19 573 a kaleny na 60 ± 2 HRC.

Obr. 40 Upínací deska sdruženého nástroje [29]

Na konci sdruženého nástroje je na magnetickém stojánu umístěno dojezdové čidlo, které zaznamená, že pás skutečně dojel do zadní polohy a nedošlo ke zvlnění plechu. Spodní část sdruženého nástroje s vloženým pásem plechu je vizualizována na obr. 41. Po celé délce pásu v řadě, kde není žádný výstupek, jsou umístěny zvedáky či zvedáky s náběhy umožňující snadné posunutí pásu plechu do dalšího kroku. Zařazení zvedáků je nezbytné k tomu, aby docházelo k hladkému posouvání plechu i po vylišování prolisů v kroku 3 nástřihového plánu, po kterém by se již plech o prolisy při posouvání bez zvedáků zachytával o spodní část nástroje. Spodní doraz je využit při prvním seřízení, kdy je nástroj „doladován“. Zelená deska, která pevně drží zezadu ohybník, je zafrézována do desky. Drážky na tmavě šedé kostce slouží k mazání. Jejich výhodou je, že se v nich dobře drží olej a nástroj se sám přimazává. Mazání pásu plechu je zajištěno při vstupu pásu do lisu tzv. ztratným olejem, který se po dvou hodinách z pásu plechu odpaří a není ho tedy nutno před povrchovou úpravou odstraňovat.

Otvory pro zahledávání jsou umístěny v okrajích pásu a není tedy pro zahledávání využito děr na řešené součásti, neboť v případě využití díry a požadavku na modifikaci této díry během sériové výroby by bylo nutno řešit nové zahledávání. Můstky bývají primárně stanoveny dle



tloušťky materiálu, u této řešené součásti bylo v důsledku zohlednění prolisů vyžadujících přídavek na šířku můstku, zvoleny můstky výrazně širší (10 mm). Je tak zajištěno, že nedojde k deformaci pásu v důsledku posunu materiálu při lisování prolisů.

Obr. 41 Sdružený nástroj s vloženým pásem plechu [29]

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [21; 26; 28; 29]

V úvodní fázi vývoje výrobku byly použity prototypové ohýbací nástroje a rozvinutý tvar součásti byl vyřezán laserem. Náklady na vyřezání laserem činí 27,40 Kč na kus, cena materiálu je stanovena na 2,40 Kč za kus, při kurzu 27 Kč/€ činí náklady na řezání součásti laserem včetně materiálu cca 1,1€. Výroba ohýbacích prototypových nástrojů stojí 5 500 €. Prototypový díl je vyráběn v nástrojárně, kde do celkové ceny dílu vstupuje materiál, náklady na jednoduché ohýbací nástroje, amortizace lisu, režijní náklady a hodinová sazba kvalifikovaného pracovníka nástrojárny.

Vzhledem k jednotkovým nákladům na dělení materiálu lze i bez kalkulace jednotkových nákladů na ohýbání prototypové součásti říci, že varianta s řezáním dílu laserem a následným ohýbáním v jednoduchých nástrojích je výhodná v situaci, kdy je díl vyráběn pouze kusově a na základě požadavků zákazníka modifikován. Je zřejmé, že v této fázi by konstrukce a výroba stříhadla spolu s náklady na jeho modifikaci nemohla konkurovat ceně a rychlosti změn u stříhání laserem. Při zavedení sériové výroby již ale externí zadávání řezání laserem ztrácí ve firmě plně vybavené lisy a schopné konstrukce a výroby postupových a sdružených nástrojů své výhody a stává se ekonomicky nevýhodné.

Po modifikaci dílu a odsouhlasení odběratelem vstupují do úvahy dvě varianty, použití dvou postupových nástrojů anebo jednoho sdruženého. Kalkulaci uvádím níže.

Rozhodujícím faktorem pro volbu způsobu výroby řešené součásti je smluvně ošetřené zajištění odběru 55 000 ks za rok, což usnadňuje provedení kalkulací výroby prostřednictvím jednotlivých variant nástrojů oproti situaci, kdy se výrobek teprve dostává na trh a velikost výroby lze pouze odhadovat.

Odběratel byl ochoten zaplatit náklady na nástroj a poté již díly nakupovat za sjednané ceny, které vychází ze skutečných jednotkových nákladů společnosti. Vzhledem ke sjednaným objemům výroby (55000 ks/rok) je zřejmé, že postupové nástroje i sdružený nástroj jsou efektivními investicemi, a to jak z hlediska nákladů, tak i z hlediska plynulosti a bezproblémovosti dodávek.

Předmětem tohoto zhodnocení je porovnání obou alternativ *ceretris paribus* a ekonomické vyjádření přínosu výhodnější varianty. U obou variant se předpokládá, že ostatní proměnné kromě jednotkových cen součásti, v nichž jsou zahrnuty náklady na mezioperační manipulaci a skladování, a nákladů na nástroj, jsou identické.

Varianta 1 představuje postupový nástroj na stříhání a také postupový nástroj na ohýbání. U této varianty je vyšší kusová cena dílu v důsledku nákladů na mezioperační skladování a manipulaci. Cena stříhacího postupového nástroje činí 38 000 €, cena ohýbacího postupového nástroje je 2 900 €. Varianta 2 reprezentuje sdružený nástroj na stříhání a ohýbání s vyšší pořizovací cenou oproti variantě 1 (43 370 €), ale s nižší kusovou cenou dílů.

Tabulka 3 obsahuje porovnání výše uvedených variant nástrojů pro sériovou výrobu. U varianty 1 je sečtena cena obou postupových nástrojů. Na základě údajů z tabulky 3 je proveden výpočet bodu obratu.

Tab. 3: Porovnání variant nástrojů pro sériovou výrobu [29].

	Náklady na pořízení nástrojů (v €)	Cena 1 ks součásti (€)
Varianta 1	40 900	0,62
Varianta 2	43370	0,555

Výpočet bodu obratu, tedy objemu výroby, při kterém jsou vyrovnány náklady obou variant, je uveden ve vztahu (4.1).

$$FNv1 + VNv1 \cdot q = FNv2 + VNv2 \cdot q \quad (4.1)$$

kde FN jsou fixní náklady

VN variabilní náklady

q je vyrobené množství řešených součástí

Indexy v1 a v2 označují variantu 1 a 2.

Po dosazení do vztahu (4.1) je sestavena rovnice, po jejímž vyřešení získáme množství součástí v ks.

$$40900 + 0,62q = 43370 + 0,555q$$

$$q = 38\,000 \text{ ks}$$

Výsledkem výpočtu je množství součástí, při kterém jsou vyrovnány náklady obou variant. Při výrobě nad bod obratu se stává výhodnější alternativa s nižšími jednotkovými náklady, tedy varianta 2.

Porovnáním obou variant bylo zjištěno, že bodem obratu je 38 000 ks. Roční objem výroby je 55 000 ks. Výroba je sjednána na dva roky, a proto je výhodnější varianta 2, jak je ilustrováno také v grafu 1 v závěru kapitoly.

Pro ekonomické zhodnocení alternativ nástrojů pro výrobu řešené součásti je v tomto případě relevantní doba návratnosti investice, tedy doba, za kterou se vyrovnají příjmy z investice a výdaje na investici. Při předpokladu rovnoměrné výroby v jednotlivých měsících lze sestavit tabulku 4.

Tab. 4: Výpočet doby návratnosti investice pro variantu 2 [29].

měsíce	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Výroba v ks	4583	9167	13750	18333	22917	27500	32083	36667	41250
kumulativně									

$$\text{Doba návratnosti varianty 2} = \frac{\text{bod obratu v ks}}{\text{měsíční výroba v ks}} = \frac{38000}{4583} = 8,29 \doteq 8 \text{ měsíců.}$$

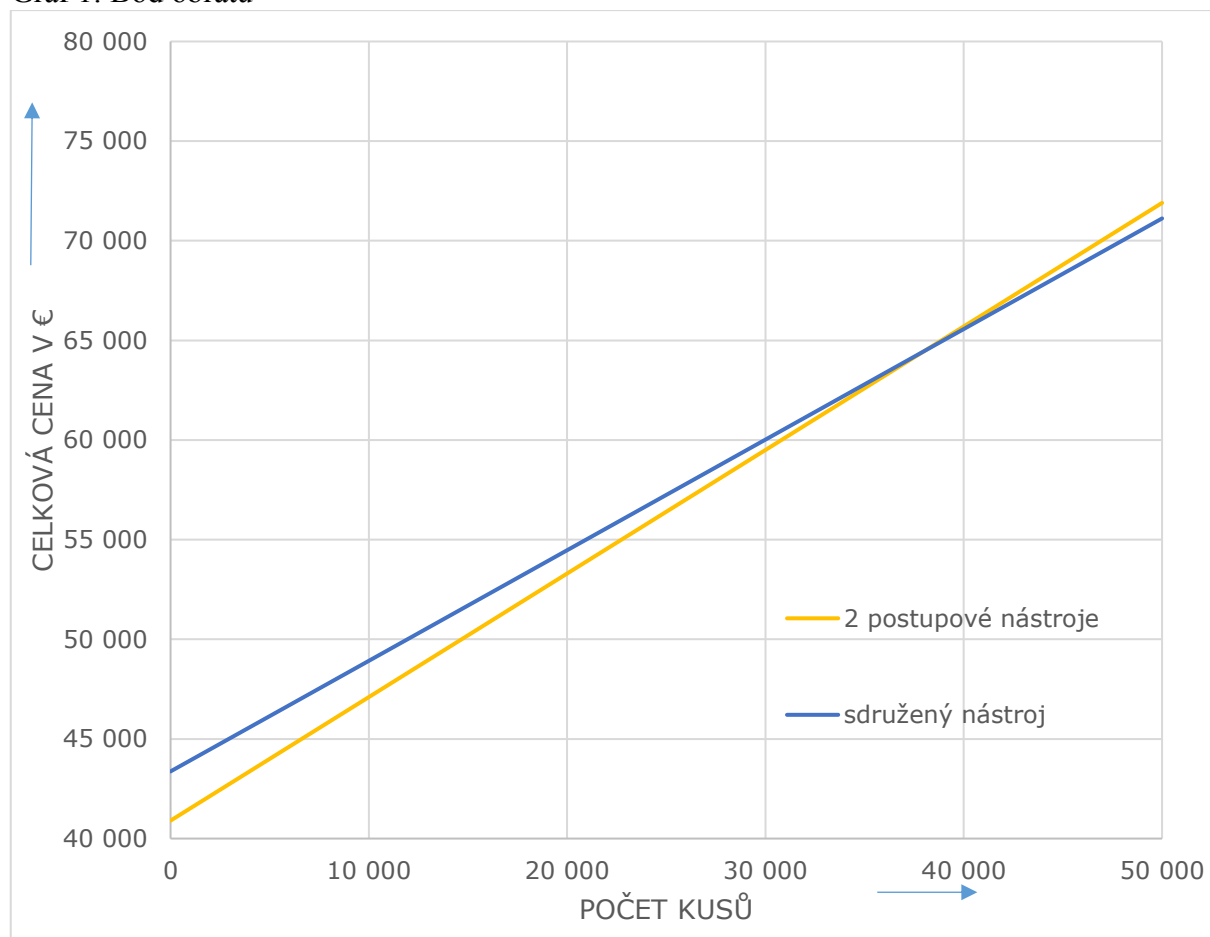
Návratnost investice by měla být co nejkratší. V tomto případě je kratší než jeden rok. Obvykle je ve firmách empiricky stanoveno, jaká by měla být doba návratnosti investice, a to odlišně pro investice v oblasti movitých a nemovitých věcí. Mimo tyto výpočty se ovšem dostávají investice do zajištění větší bezpečnosti zaměstnanců, odstranění havarijních stavů, omezení negativních dopadů na životní prostředí, zajištění souladu s měnicími se právními předpisy apod. V praxi se samozřejmě liší složitost schvalovacích procesů investic dle velikosti a struktury společnosti. Ve velkých společnostech je pro tuto činnost vyhrazena kapacita zaměstnance Controllingu dané oblasti, který na základě podkladů k investici, předkládané příslušnou oblastí společnosti, tedy např. technickým vývojem, zpracuje kalkulace zahrnující i porovnání jednotlivých variant a výchozího stavu. Poté je žádost o investici doporučena či nedoporučena vedením Controllingu dané oblasti a poté postoupena dále ve schvalovacím procesu. Ve menší společnosti jsou kalkulace na pořízení nových nástrojů zpracovávány v rámci oddělení přípravy výroby a schvalovány vedením oddělení a v případě vyšších nákladů na investici vedením společnosti.

Pokud je nástroj financován odběratelem, jsou mu předloženy kalkulace, na jejichž základě má možnost se rozhodnout o případném výběru z více variant. Pro celkové zhodnocení

investice je nutno zohlednit dobu návratnosti investice, dobu životnosti zařízení, do něhož je investováno, celkové náklady na investici, výnosy při využití alternativní investice, v případě využití cizích prostředků i výši úvěru, úrokovou sazbu a dobu splácení.

V případě rozhodování o sériové výrobě řešené součásti jde o dvě rovnocenné varianty, u nichž se liší kromě pořizovacích a jednotkových nákladů i vytíženost zaměstnanců. V grafu 1 je uvedena kalkulace s využitím nákladů na výrobu nástroje a cen součásti za ks, stanovených na základě nákladů na materiál, amortizaci stroje, mzdových nákladů obsluhy, režijních nákladů a marže. Kalkulace je prováděna v situaci, kdy je v regionu, v němž společnost působí, obecně nedostatek kvalitních pracovních sil, a proto je vedle ekonomického aspektu jedním z kritérií rozhodování i menší pracnost a požadavky na kapacitu obsluhy. V případě nižšího využití kapacit společnosti může být kritériem rozhodování naopak i sociální aspekt, vyšší využití kapacit stávajících zaměstnanců.

Graf 1: Bod obratu



BODU OBRATU = 38 000 ks

ZÁVĚRY

Bakalářská práce předkládá návrh výroby závěsu dveří automobilu z plechu ČSN 11 321 a technicko - ekonomické zhodnocení zvolené varianty.

Získání zakázky na sériovou výrobu předchází výroba prototypů a jejich zkoušky. Pro výrobu prototypů je z ekonomických i časových důvodů využito řezání laserem a ohýbání v jednoduchých nástrojích. Před zahájením sériové výroby dochází k modifikaci součásti na základě požadavku zákazníka a také s ohledem na požadované užité vlastnosti výrobku a po smluvním zajištění dostatečně vysokého objemu výroby je rozhodováno o sériovém nástroji. Byla zvažována varianta postupových nástrojů pro operace stříhání a ohýbání a varianta výroby sdruženého nástroje, zajišťujícího provádění stříhacích i ohýbacích operací. Na základě ekonomického zhodnocení možných variant sériové výroby bylo rozhodnuto o výrobě sdruženého nástroje. Doba návratnosti investice do sdruženého nástroje činí 8 měsíců.

Teoretická část práce obsahuje literární rešerši, jejímž výstupem je přehled technologií dělení materiálu se zhodnocením jejich vhodnosti pro výrobu zadané součásti, jejich vzájemné porovnání a výběr vhodné technologie. Dále seznamuje s problematikou ohýbání a stručně také s problematikou lisování značek a prolisů s ohledem na zvolenou součást. Zmíněna je i možnost výroby součástí z plechu pomocí aditivních technologií a nastíněny perspektivy aditivní výroby. Součástí teoretické části jsou vzorce, které jsou v další části práce využity k výpočtům pro zadanou součást.

Závěs je v sériové výrobě zhotovován ve sdruženém nástroji operacemi stříhání a ohýbání. Na výstřižku jsou vylisovány prolisy a vyražena označení. Výpočtem byla zjištěna požadovaná nominální síla lisu 1528 kN. Bylo využito stávající volné kapacity lisu v podniku a navrženo upnutí nástroje do rámového mechanického lisu, typ ZH 2500 – 2000 NG s nominální silou 2500 kN. V případě že by se měnila vytiženost lisů anebo se uvažovalo o pořízení nového lisu, bylo by možno zvažovat upnutí sdruženého do lisu s nominální hodnotou 1600 kN a více. K práci je přiložena výkresová dokumentace součástí a nástroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [22]

1. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 9788022732420.
2. BAREŠ, Karel a a kol. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971.
3. BURNHAM, Chip. *The Ultimate Guide to Waterjet* [online]. Flow International Corporation, 2015 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/Forms/eBook-Ultimate-Guide-to-Waterjet-Response-en.aspx>
4. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 9788086706191.
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 8021426837.
6. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 9788021447479.
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 8021423749.
8. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
9. KŘIVDA, Bohumil. Nové technologie obloukového svařování a dělení plazmou. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM Publishing, 2006, (4).
10. KUBÍČEK, Jaroslav. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K ÚST, odbor svařování a PÚ* [online]. BRNO: VUT [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv_etv-k__kubicek.pdf
11. NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky. část I., Tváření*. Brno: Ediční středisko VUT, 1982, 179 s. : il., tabulky, grafy.
12. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
13. SEDLÁČEK, Karel. Námořníci využívají 3D tisk. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2017, (4), 1. ISSN 1212-2572.
14. SCHULER, GmbH. *Metal Forming Handbuch*. Berlin: Springer-Verlag, 1998. ISBN 3-540-61185-1.
15. SOLAROVÁ, Dagmar. Produktivní zpracování plechu ze svitků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2017, (1) [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/produktivni-zpracovani-plechu-ze-svitku.html>

16. ŠANOVEC, Jan a Tomáš PILVOUSEK. Aditivní výroba ve tváření plechů. *MM Průmyslové spektrum*. Praha, 2017, (4), 2. ISSN 1212-2572.
17. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: MM Publishing, 2010, (7).
18. VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 9788070807415.
19. Aditivní výroba - prototypové vzorky. In: *The Casting Company, Inc.* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://thecastingcompanyinc.com/wp-content/uploads/2011/10/prototype-part-sample-12.jpg>
20. An investigation on co-axial water-jet assisted fiber laser cutting of metal sheets. *Optics and Lasers in Engineering* [online]. 2016, 27(77), 16 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143816615001955>
21. Bod zvratu. *Finanční analýza firmy* [online]. Praha [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.faf.cz/Rentabilita/Bod-zvratu.htm>
22. CITACE PRO: Generátor citací [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz>
23. Co je řezání vodou? *Řezeme vodou.cz* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
24. Cutting process overview. *Www.hypertherm.com* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.hypertherm.com/en-US/learn/cutting-education/cutting-process-overview/>
25. DC01 datasheet. *Steel grades* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Structure-Steel/DC01.html>
26. Doba návratnosti investice. *Business.center.cz* [online]. Praha: HAVIT [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://business.center.cz/business/pojmy/p1360-doba-navratnosti-investice.aspx>
27. European Steel and Alloy Grades/Numbers: Steel Number. *EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES* [online]. Kharkov, Ukraine: National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute " (NTU KhPI), 2017 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: Zdroj: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199#1
28. Finanční kalkulační pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>
29. Hettich ČR k.s.: *Interní materiály společnosti*. Žďár nad Sázavou, 2017.
30. *Metco Forslide Manufacturing* [online]. Los Angeles, USA [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://www.metcofourslide.com/images/fourslide_miniature_parts.jpg

31. *MM Průmyslové spektrum: monotematická příloha Moderní výrobní technologie a materiály*. 2017, (4). ISSN 1212-2572.
32. *Normy ČSN*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
33. Ohýbání. In: *Mold technology* [online]. 2011 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://mold-technology4all.blogspot.cz/2011/08/bending.html>
34. Plech Server: Oborový informační server. *Www.i-plech.cz* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.i-plech.cz/plech-valcovany-za-studena-main.html>
35. Postupový střížný nástroj. In: *RAWELA s.r.o.* [online]. Lanškroun, 2017 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://rawela.com/konstrukce>
36. Profilování a zakružování. In: *Jaster.cz* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.jaster.cz/sluzby/zakazkova-vyroba.html>
37. Přesné stříhání. In: *Chicago Fineblanking Corporation* [online]. Vernon Hills [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: domensino.com/Fineblanking/company_applications.html
38. Rozvoj a současná úloha aditivní výroby. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha, 2016, (11) [cit. 2017-05-10]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rozvoj-a-soucasna-uloha-aditivni-vyroby.html>
39. Řezání laserem. In: *ACSYS Lasertechnik: Lasersysteme für die Materialbearbeitung* [online]. Kornwestheim, BRD [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: http://www.acsys.de/fileadmin/public/Images/Verfahren/laserschneiden/laserschmelzs chneiden_large-x2.png
40. Řezání plazmou. In: *FERRUM s.r.o.* [online]. Moravské Budějovice [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.ferrum-mb.cz/rezani-plazmou/rezani-trubek-profilu/>
41. Řezání plazmou. *Řezání plazmou* [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/rezani-plazmou/>
42. Řezání vodním paprskem. In: *KSB spol s r.o.* [online]. Pelhřimov [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.ksb-pel.cz/187-rezani-vodnim-paprskem.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_c	Tažnost	[%]
A_s	Střížná práce	[J]
a	Délka	[mm]
c	Koeficient	[-]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_o	Ohýbací síla	[N]
F_p	Síla přidržovače	[N]
F_s	Střížná síla	[N]
F_{tv}	Tvářecí síla	[N]
F_v	Díla vyhazovače	[N]
h	Hloubka vniku razidla	[mm]
K	Hloubka vniknutí střížníku do materiálu	[mm]
La	Délka ohybu	[mm]
L	Délka oblouku	[mm]
l	Délka stříhu	[mm]
l_o	Rozvinutá délka polotovaru	[mm]
$l_1, l_2, \dots l_n$	Délky ramen	[mm]
La	Délka ohybu	[mm]
Lo	Ohybový obvod	[mm]
L_{tv}	Obvod tvářené oblasti	[mm]
L_v	Rozvinutá délka velkého polotovaru	[mm]
L_z	Rozvinutá délka malého polotovaru	[mm]
m_o	Hmotnost	[kg]
N	Počet pravoúhlých ohybů	[ks]
n	Koeficient zohledňující vnější vlivy při stříhání	[ks]
R	Poloměr	[mm]
r	Poloměr	[mm]
R_a	Drsnost povrchu	[μm]
Re	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[Mpa]
rm	Poloměr ohybnice	[mm]
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
rp	Poloměr ohybníku	[mm]
S	Plocha stříhu	[mm^2]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]
vo	Koeficient - tabelovaná hodnota pro pravoúhlé ohyby	[mm]
z	Střížná mezera	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
γ	Úhel odpružení	[°]
λ	Součinitel plnosti	[-]
σ	Koeficient napětí	[MPa]
ρ_o	Poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ	Poloha neutrální osy	[mm]
τ_{ps}	Pevnost ve stříhu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady tvářených součástí [30]	9
Obr. 2 Závěs dveří automobilu [2].....	10
Obr. 3 Zavěšený svitek plechu [29]	11
Obr. 4 Nasazený svitek plechu [29].....	12
Obr. 5 Svitky plechu [29]	12
Obr. 6 Umístění zahledávacích otvorů a délka kroku [29]	12
Obr. 7 Tloušťka součásti [29]	13
Obr. 8 Rozměry vystupujících částí výstřižku [29]	13
Obr. 9: Posouzení technologičnosti součásti [29].....	14
Obr. 10 Řezání plazmou [40].....	16
Obr. 11 Řezání vodním paprskem [42].....	16
Obr. 12 Řezání laserem [39]	17
Obr. 13 Stříhání [35].....	17
Obr. 14 Přesné stříhání [37].....	19
Obr. 15 Profilování a zakružování [36]	20
Obr. 16 Schémata ohybu momentem a osamělou silou [7]	20
Obr. 17 Příklad V a U ohybu	21
Obr. 18 Neutrální osa [33]	21
Obr. 19 Diagram ohýbání [33].....	22
Obr. 20 Odpružení [17].....	23
Obr. 21 Zakružování řešené součásti [29]	24
Obr. 22 Obloukovitá pružná podložka [16]	25
Obr. 23 Kovový prášek pro výrobu kovových dílů aditivní technologií [38]	26
Obr. 24 Prototypové díly [19].....	26
Obr. 25 Vylisovaná datumová značka a číslo dílu [29].....	27
Obr. 26 Prolisy [29]	27
Obr. 27 Lis, typ ZH 2500 – 2000 NG [29]	29
Obr. 28 Jednoduchý nástroj pro první ohyb [29].....	29
Obr. 29 Vizualizace jednoduchého nástroje pro první ohyb [29].....	30
Obr. 30 Nástroj pro V ohyb [29].....	30
Obr. 31 Vizualizace nástroje [29]	30
Obr. 32 Ohýbací nástroj pro poslední operaci [29]	30
Obr. 33 Ohybnice [29]	31
Obr. 34 Ohybník [29].....	31
Obr. 35 Nástřihový plán řešené součásti [8].....	32
Obr. 36 Fotografie nástřihového plánu [29]	33
Obr. 37 Sdružený nástroj [29].....	34
Obr. 38 Spodní část sdruženého nástroje [29]	35
Obr. 39 Vodící desky [29]	35
Obr. 40 Upínací deska sdruženého nástroje [29].....	36
Obr. 41 Sdružený nástroj s vloženým pásem plechu [29]	36

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli ČSN 11 321 [25; 27].	11
Tab. 2 Hodnoty součinitele x [5]	23
Tab. 3: Porovnání variant nástrojů pro sériovou výrobu [29].	37
Tab. 4: Výpočet doby návratnosti investice pro variantu 2 [29].	38


SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list dodavatele [29]
Příloha 2	Ocel, ekvivalenty značení a bližší specifikace [25; 27]
Příloha 3	Specifikace lisu [29]
Příloha 4	Přehled metod dělení materiálu [24]

SEZNAM VÝKRESŮ

Závěs	BP-01-01
Sestava postupového nástroje	BP-02-00

Príloha 1 Materiálový list dodavateľa [29]

A01 ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Sosnowcu ul. Niwiecka 1 41-200 Sosnowiec		A02 ŚWIADECTWO ODBIORU 3.1 INSPECTION CERTIFICATE 3.1 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS 3.1 PN-EN 10204		Z01.1 Sosnowiec, 03.10.2016 A03 Nr: 1001890470		A04  ArcelorMittal	
A06.1 Zamawiający: Purchaser: Besteller:		A06.1 ARCELORMITTAL FLAT CARBON EUROPE SA 1160 Luxembourg, boulevard d'Avranches 24-26, Luksemburg / Luxembourg / Luxembourg					
A06.2 Adres wysyłkowy: Address: Versandadresse:		A06.2 Hettich CR K.S. 591 01 Zdar nad Sazavou,, Jihlavská 3 Republika Czeska / Czech Republic / Tschechische Re					
A07 Nr zamówienia klienta No of purchase order No der Bestellung 4504810421		Nr kontraktu Contract No Vertrag No PL277839653/16-10685546		Nr zlecenia Manuf. Order No Auftrag No 10685546		Dowód dostawy Delivery Note Lieferschein Nr 62469237	
						Nr środka transportu Number of transport Transportmittel-Nr SD93290 / SD3535C	
LEVERAGE: 570070578							

DOŚLO
4 10. 2016

Vysvětlění objednávky - Order Specification - Specification der Bestellung
 Normy, rodzaj materiału, stan dostawy - Standard, state of delivery - Norm, Art. Des Materiale, Lieferzustand

B02	Norma przedmiotowa According Nach PN-EN 10139:2001	Norma klasyfikacyjna Classification standards Materialnorm PN-EN 10139:2001	Norma wymiarowa Tolerance standards Massnorm PN-EN 10140:2007
------------	---	--	--

Kod wyrobu - Product code - Produkt-Code: **CRST** **B02** Gatunek - Steel grade - Marke: **DC01**

B01, B04, B09-B11, B16
 Taśma cięta zimnowalcowana grub.: 2,00 szer.: 134,00 gat.stali: DC01 brzozy obcięte rodz.pow.: MA zabezp.pow.: ol. antykor+ lekko
 ol. 0,5-1,0 opakowanie: ED1
 Cold rolled strips thickness: 2,00 width: 134,00 steel grade: DC01 cut edges surf.qtype: MA surf.prot.: rust prot.+ light oil 0,5-1,0
 packaging: ED1



B07.1 Nr partii badanej - QM Batch No - WK Los Nr				B08 Ilość sztuk - Number of pieces - Stückzahl:						4		B13 Tonaż - Weight - Gewicht			
500002074597285275												3,224 t			
C71-C92 C93 = CEV Skład chemiczny - Chemical composition - Chemische Zusammensetzung															
Wytap - Heat - Schmelze		C[%]	Mn[%]	Si[%]	P[%]	S[%]	Cu[%]	Cr[%]	Ni[%]	Al[%]	Al _{sol} [%]	V[%]	Mo[%]	Nb[%]	Co[%]
285275		0,06	0,24	0,008	0,011	0,011	0,04	0,03	0,030	0,043	0,041	0,0010	0,003	0,0010	
Ti[%]	As[%]	N ₂ [%]	Ca[%]	Pb[%]	Sn[%]	Sb[%]	C[%]	H ₂ [%]	Zn[%]	W[%]	B[%]	Zr[%]	C _{Eq} [%]		
0,0010	0,002	0,0038			0,0035						0,0001		0,11		

Właściwości mechaniczne - Mechanical properties - Mechanische Eigenschaften

B07.1 Nr partii badanej QM Batch No WK Los Nr	C11.2 Re Re Re [MPa]	C12 Rm Rm Rm [MPa]												
500002074597 285275	424,00	501,00												
500002074597 285275	406,00	498,00												


Badany materiał nie wykazał radioaktywności. Pomiar został wykonany przy użyciu systemu GENIE 2000, produkcja Canberra-Packard.
 The tested material did not show any signs of radioactivity. The measurement was performed with the application of GENIE 2000 system, manufactured by Canberra-Packard.
 In dem untersuchten Material wurde keine Radioaktivität gefunden. Die Messung wurde mit dem GENIE-2000-System gemacht, Hersteller: Canberra-Packard.

D01 Powierzchnia i wymiary - Sprawdzono zgodność z zamówieniem Surface and dimension - tested according to purchase order Oberfläche und Masse - Geprüft entsprechend der Bestellung	
--	--

A01 ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Sosnowcu ul. Niwiecka 1 41-200 Sosnowiec	A02 ŚWIADECTWO ODBIORU 3.1 INSPECTION CERTIFICATE 3.1 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS 3.1 PN-EN 10204	Z01.1 Sosnowiec, 03.10.2016 A03 Nr: 1001890470	A04  ArcelorMittal
Z01 Na podstawie przeprowadzonych badań uznano, że wykonany wyrób jest zgodny z warunkami zamówienia. On the basis of the tests it has been recognized that the product conforms with the order requirements. Nach der durchgeführten Prüfungen wurde festgestellt, das des Erzeugnis den Anfrderungen der Bestellung enteppricht.		A05 Z02.2 Jakość i Rozwój Produktu Quality and Product Qualitäts und Produkt Zarządzanie Jakością Specjalista  Halina Kulp	

DOŠLO

4. 10. 2016

A01 ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Sosnowcu ul. Niwcka 1 41-200 Sosnowiec	A02 ŚWIADECTWO ODBIORU 3.1 INSPECTION CERTIFICATE 3.1 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS 3.1 PN-EN 10204	Z01.1 Sosnowiec, 03.10.2016 A03 Nr: 1001890476	A04  ArcelorMittal
A06.1 Zamawiający: Purchaser: Besteller:		A06.1 ARCELMITTAL FLAT CARBON EUROPE SA 1160 Luxembourg, boulevard d'Avranches 24-26, Luxemburg / Luxembourg / Luxembourg	
A06.2 Adres wysyłkowy: Address: Versandadresse:		A06.2 Hettich CR K.S. 591 01 Zdar nad Sazavou, Jihlavska 3 Republ. Czeska / Czech Republic / Tschechische Re	
A07	Nr zamówienia klienta No of purchase order No der Bestellung 4504810540	Nr kontraktu Contract No Vertrag No PL/277839653/16-10685563	Nr zlecenia Manuf. Order No Auftrag No 10685563
	Dowód dostawy Delivery Note Lieferschein Nr 62469238	Nr środka transportu Number of transport Transportmittel-Nr SD93290 / SD3535C	LEVERAGE 570070577

DOŚLO

4 10 2016

Wyszczególnienie zamówienia - Order Specification - Specification der Bestellung			
Normy, rodzaj materiału, stan dostawy - Standard, state of delivery - Norm, Art. Des Materiale, Lieferzustand			
B02	Norma przedmiotowa According Nach PN-EN 10139:2001	Norma klasyfikacyjna Classification standards Materialnorm PN-EN 10139:2001	Norma wymiarowa Tolerance standards Massnorm PN-EN 10140:2007
Kod wyrobu - Product code - Produkt-Code: CRST B02 Gatunek - Steel grade - Marke: DC01			
B01, B04, B09-B11, B16 Taśma cięta zimnowalcowana grub.: 2,20 szer.: 128,00 gat.stali: DC01 brzegi obcięte rodz.pow.: MB zabez.pow.: ol. antykor+ lekko ol. 0,5-1,0 opakowanie: ED1 Cold rolled strips thickness: 2,20 width: 128,00 steel grade: DC01 cut edges surf.qtype: MB surf.prot.: rust prot.+ light oil 0,5-1,0 packaging: ED1			

B07.1 Nr partii badanej - QM Batch No - WK Los Nr					B07.8 Ilość sztuk - Number of pieces - Stückzahl:					4		B13 Tonaż - Weight Gewicht				
500002074596632559												3 t				
C71-C92 C93 = CEV Skład chemiczny - Chemical composition - Chemische Zusammensetzung																
Wytap - Heat - Schmelze		C[%]	Mn[%]	Si[%]	P[%]	S[%]	Ca[%]	Cr[%]	Ni[%]	Al[%]	Al ₂ O ₃ [%]	V[%]	Mo[%]	Nb[%]	Co[%]	
70.3 632559		0,03	0,22	0,014	0,005	0,006		0,01	0,001	0,028	0,024	0,0010	0,001	0,0010	0,002	
Ti[%]	As[%]	N ₂ [%]	Ca[%]	Pb[%]	Sn[%]	Sb[%]	Ci[%]	H ₂ [%]	Zn[%]	W[%]	B[%]	Zr[%]	C _{eq} [%]			
0,0010	0,001	0,0050	0,0029	0,0010	0,0010	0,0010	0,0039		0,0014	0,0010	0,0002		0,07			

Właściwości mechaniczne - Mechanical properties - Mechanische Eigenschaften



B07.1 Nr partii badanej QM Batch No WK Los Nr	C11.2 Re Re Re (MPa)	C12 Rm Rm Rm (MPa)	D55 Ra Ra Ra (µm)				
500002074596 632559	362,00	403,00	1,25				
500002074596 632559	368,00	403,00	1,60				

Badany materiał nie wykazał radioaktywności. Pomiar został wykonany przy użyciu systemu GENIE 2000, produkcja Canberra-Packard.
The tested material did not show any signs of radioactivity. The measurement was performed with the application of GENIE 2000 system, manufactured by Canberra-Packard.
In dem untersuchten Material wurde keine Radioaktivität gefunden. Die Messung wurde mit dem GENIE-2000-System gemacht, Hersteller: Canberra-Packard.

D01 Powierzchnia i wymiary - Sprawdzono zgodność z zamówieniem Surface and dimension - tested according to purchase order Oberfläche und Masse - Geprüft entsprechend der Bestellung	
---	--

Wystawil: Monika Truchel

Strona 1 / 2

A01 ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Sosnowcu ul. Niwiecka 1 41-200 Sosnowiec	A02 ŚWIADECTWO ODBIORU 3.1 INSPECTION CERTIFICATE 3.1 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS 3.1 PN-EN 10204	Z01.1 Sosnowiec, 03.10.2016 A03 Nr: 1001890476	A04  ArcelorMittal
Z01 Na podstawie przeprowadzonych badań uznano, że wykonany wyrób jest zgodny z warunkami zamówienia. On the basis of the tests it has been recognized that the product conforms with the order requirements. Nach der durchgeführten Prüfungen wurde festgestellt, das des Erzeugnis den Anforderungen der Bestellung entspricht.		A05 Jakość i Rozwój Produktu Quality and Product Qualitäts und Produkt Zarządzanie Jakością Specjalista  Halina Korp	

DOŚLO

4. 10. 2016

Příloha 2 Ocel, ekvivalenty značení a bližší specifikace [25; 27]

Tab.1 Ekvivalenty značení ocelí [27]

Equivalent grades of steel DC01 (1.0330)															
Warning! Only for reference															
EU EN	USA -	Germany DIN,WNr	Japan JIS	France AFNOR	England BS	European old EN	Italy UNI	Spain UNE	China GB	Sweden SS	Czechia CSN	Austria ONORM	Russia GOST	Inter ISO	India IS
DC01	SAE1008 SAE1010	FeP01 St12	SPCC	C F12 FeP01	CR4 FeP01	FeP01	FeP01	AP00	08 08F	1142	11321	St02F	08kp 08ps	Cr01 CR22	O

Tab. 2 Složení oceli DC01 [25]

DATASHEET FOR:STEEL GRADES:STRUCTURE STEEL:DC01			
Chemical composition(mass fraction)(wt.%) of the DC01			
C(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)
0.12	0.60	0.045	0.045

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli DC01 [25]

MECHANICAL PROPERTIES			PHYSICAL PROPERTIES		HEAT TREATMENT		MORE ▾	
Yield $R_{p0.2}$ (MPa)	Tensile R_m (MPa)	Impact KV/Ku (J)	Elongation A (%)	Reduction in cross section on fracture Z (%)	As-Heat-Treated Condition		Brinell hardness (HBW)	
663 (≥)	621 (≥)	13	44	32	Solution and Aging, Annealing, Ausaging, Q+T,etc		231	

Příloha 3 Specifikace lisu [29]

Rámový mechanický lis, 2500 kN, Typ ZH 2500 - 2000 NG

Proveden ve stabilní monoblok – svařené ocelové konstrukci s pohonem přes ozubenou předlohu, v uzavřené olejové lázni.

Excentrické hřídele jsou vyrobeny z vysoce šlechtěné speciální oceli, zápusťkově kovány. Kluzná ložiska ze speciální bronzi pro excentrický hřídel a ojnici, hlavní uložení mají čidla teploty.

Stroj je vybaven elektro-pneumatickou brzdo-spojku, bezpečnostním lisovacím ventilem a dvouručním ovládacím pultem.

Hladina hluku stroje cca 85 dB (A).

Pohon probíhá pomocí střídavého motoru, možnost plynulé regulace počtu zdvihů, s optickým ukazatelem zastavení.

Beran lisu je zhotoven, jako vysoce tuhá svařovaná a vyžihaná ocelová konstrukce, ve dvouojnicovém provedení. Vedení beranu je válečkové, zaručující dlouholetou přesnost. Pneumatické vyvažování hmoty beranu je 4 násobné pneumatické a je seřiditelné v závislosti na hmotnosti horní části nástroje. Jednotka úpravny vzduchu a vyrovnávací tlaková nádoba jsou umístěny z boku lisu. Upínání nástroje se provádí pomocí upínacích drážek (možnost rychloupínacího systému).

Seřizování výšky zdvihu se provádí plně automaticky na ovládacím panelu s možností předvolby. Po dvouručním bezpečnostním spuštění procesu dojde k následujícím krokům automatického přeseřizování zdvihu: podkovový kroužek otevřít, nastavit nový zdvih, automaticky polohovat a zavřít, nastavit novou polohu horní úvratí. Uskutečněný proces je indikován kontrolkou. Doba automatického přeseřazení zdvihu cca 40 sec. Při zadání čísla nástroje dojde též k automatickému nastavení nového zdvihu.

Nastavení beranu probíhá motoricky, s aktivací na ovládacím panelu, včetně automatického sevření a uvolnění kulových čepových svěračů. Ohraničení dráhy přeseřazení je provedeno pomocí koncových spínačů. Nastavená hodnota je snímána digitálním zařízením, s nastavitelností 0,1 mm.

Dvojnásobné hydraulické jištění proti přetížení je vestavěné v beranu, seřiditelné mezi 40 a 100 % jmenovité lisovací síly. Dráha přetížení je max. 15 mm. Při překročení nastavené hranice tlaku projde beran bez blokování k horní úvratí. Stroj se automaticky zastaví a na ovládacím panelu se objeví hlášení „tlak je překročen“

4 vestavěná tělesa osvětlující pracovní prostor jsou vyrobena ve vodotěsném provedení.

Olejové oběhové centrální mazání včetně elektrického hlídání hlavních mazaných míst a množství oleje má místo optického hlášení poruchy. Centrální zpětné vedení oleje prochází filtrační jednotkou. Filtrační systém je elektricky hlídán. Při poruše vznikne signál pro zastavení lisu.

Nástrojový prostor je z přední i zadní strany lisu zakryt ochranným průhledným štítem, posuvným pomocí pneumatického válce. Štít zajišťuje rovněž odhlučnění prostoru. Zavřená poloha ochranných štítů je během automatického chodu lisu jištěna koncovými spínači, které v případě otevření štítu ihned zastaví lis.

Úplné řízení je ze zavěšeného ovládacího pultu se všemi povely a hlášeními.

Technická data:

Jmenovitá lisovací síla cca 30° před dolní úvratí	2500	kN
Počet zdvihů plynule regulovatelný	40 – 120	/min
Plíživý chod	5	zdv./min
Vestavěná výška nástroje mezi stolem a beranem při max. zdvihu dole a nastavení beranu nahoře	580	mm
Výška zdvihu automaticky seřiditelná	40 – 220	mm
Nastavení beranu motorické	130	mm
Plocha beranu s T-drážkami	2200 x 1250	mm
Plocha stolu s T-drážkami	2200 x 1250	mm
Středící drážka v beranu	30	mm
Propadový otvor ve stole	dle dohody	
Boční průchod mezi sloupy	1100	mm
Výkon pohonu střídavý motor	37	kW
Hmotnost cca	36	t
Celková výška stroje cca	4.700	mm

Příloha 4 Přehled metod dělení materiálu [24]

METODA DĚLENÍ MATERIÁLU	VODNÍ PAPRSEK	LASER	PLAZMA		AUTOGEN	DALŠÍ MECHANICKÉ NÁSTROJE
			konvenční plazma	vysoce výkonná plazma		
Materiály	výběr materiálů	kov, dřevo, plasty, pěna, další materiály	většina elektricky vodivých kovů	většina elektricky vodivých kovů	uhlíková ocel	kov, dřevo, plasty
Tloušťka	rozsah tlouštěk	užíváno pro tenčí materiály, ale možno řezat až do 32 mm	do 75 mm ručně do 32 mm s mechanizací	až do 75 mm (měkká ocel) až do 150 mm (nerezová ocel)	rozsah tlouštěk	běžně do 25 mm
Kvalita řezu	výborná kvalita s vysokou tolerancí	výborná kvalita s vysokou tolerancí	dobrá kvalita může vyžadovat ještě následné operace	velmi dobrá kvalita, prakticky bezodpadová	v rozmezí špatné až velmi dobré kvality v závislosti na dovednosti obsluhy	velmi dobrá kvalita při nízké řezné rychlosti a zkušené obsluze
Produktivita	nízká až vysoká v závislosti na materiálu	vysoká produktivity u tenkých materiálů	střední	střední až vysoká, v závislosti na tloušťce materiálu	nízká, ale může být zlepšena souběhem více hořáků	nízká
Rychlost	nízká až vysoká v závislosti na materiálu	vysoká řezná rychlost u tenkých materiálů, nízká u silnějších materiálů	střední	vysoké řezné rychlosti	nízké řezné rychlosti, mohou být zvýšeny souběhem více hořáků	nízké řezné rychlosti
Následné operace			někdy nutno brousit	příležitostně nutno odstranění odpadu	téměř vždy nutnou brousit a odstranit zoxidovaný povrch	téměř vždy nutno pilovat a brousit
Operativní náklady	\$\$\$	\$\$\$ (vyšší u CO ₂ laserů)	\$	\$	\$\$	\$\$\$\$
Náklady na kapitálové vybavení	\$\$\$	\$\$\$\$	\$	\$\$\$\$	\$	\$ - \$\$\$\$
Přenosné	NE	NE	ANO (vzduchová plazma)	NE	ANO	ANO
Tepelně ovlivněná oblast	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	MOŽNÁ